

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM MODELO MATEMÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO  
DA PRODUÇÃO DE CASULOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA

AMARILDO DE VICENTE



0.221.865-2

UFSC-BU

FLORIANÓPOLIS  
SANTA CATARINA - BRASIL  
MARÇO DE 1994

UM MODELO MATEMÁTICO PARA UTILIZAÇÃO  
DA PRODUÇÃO DE CASULOS

AMARILDO DE VICENTE

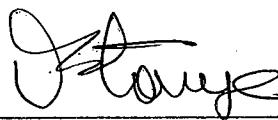
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA"

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA  
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Coordenador

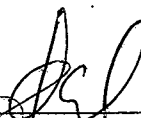
BANCA EXAMINADORA:



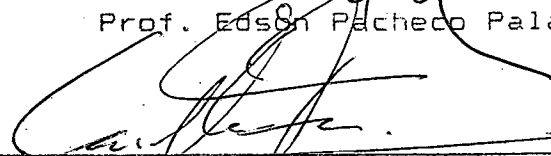
Prof. Plinio Stange, Dr.  
Orientador/Presidente



Prof. Edgar Augusto Lanzer, Ph. D.



Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.



Prof. Carlos Ernani Fries, M. Sc.

Dedico este trabalho à minha noiva,  
Ana Maria, aos meus pais, Calixto  
e Miguelina, e a todos os meus  
irmãos.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor PLÍNIO STANGE, pela orientação no desenvolvimento do trabalho.

As empresas FIAÇÃO DE SEDA BRATAC S.A. e COOPERATIVA DOS CAFEICULTORES E AGROPECUARISTAS DE MARINGÁ (COCAMAR), pelo fornecimento de dados.

As entidades EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER) e ASSOCIAÇÃO DE CRÉDITOS E ASSISTÊNCIA RURAL DO PARANÁ (ACARPA), pelo fornecimento de dados e informações relativas à atividade sericícola.

Ao departamento de zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, pelo fornecimento de bibliografia.

Aos amigos EDWARD KAVANAGH e CÉLIA RUPP KAVANAGH, pela preciosa ajuda prestada na confecção do texto.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos colegas de curso, pelo apoio prestado.

A Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

A todos que, de um modo ou de outro, contribuíram para que fosse possível o desenvolvimento deste trabalho.

## UM MODELO MATEMÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CASULOS

AMARILDO DE VICENTE

### RESUMO

O presente trabalho fornece uma contribuição à atividade sericícola, abordando aspectos como fertilização do solo e técnicas de criação do bicho-da-seda. A meta é utilizar tais técnicas de forma a obter o máximo lucro possível na produção.

A metodologia baseia-se na construção de um modelo matemático para programação não linear, cujo objetivo é fornecer medidas adequadas dos elementos empregados na criação, tais como número de tratos diários, número máximo de larvas por metro quadrado, etc, para atingir a meta acima citada.

Palavras chaves: Produção de Casulos  
Criação do Bicho-da-Seda  
Sericicultura  
Programação Não Linear Aplicada

A MATHEMATICAL MODEL TO IMPROVE  
THE SILKWORM COCOONS

AMARILDO DE VICENTE

ABSTRACT

The present paper gives a contribution to sericiculture lighting forms to fertilize the soil and technics to the raising of silkworm. The goal is to utilize this technics to obtain the maximum profit in the production.

The methodology is based on the construction of a mathematical model for nonlinear programming problem, where the objective is to give suitable measures from the utilized elements in the raising of silkworm, as diary number of treatment, maximum number of larva for square meter, etc, to reach the goal cited above.

Key words:

Cocoon Production  
Silkworm Raising  
Sericulture  
Applied Nonlinear Programming.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS . . . . .	x
LISTA DE QUADROS . . . . .	xi

## CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO . . . . .	01
1.1. Descrição . . . . .	01
1.2. Objetivos . . . . .	01
1.3. Motivação . . . . .	01
1.4. Estrutura do Trabalho . . . . .	02
1.5. Considerações Históricas . . . . .	03
1.6. Alguns Dados Estatísticos . . . . .	03
1.7. Possibilidades para o Brasil no Mercado Mundial da Seda . . . . .	05

## CAPÍTULO II

2. DESCRIÇÃO GERAL DA SERICICULTURA . . . . .	07
2.1. A Amoreira . . . . .	07
2.1.1. Variedades . . . . .	07
2.1.2. Calagem do Solo . . . . .	07
2.1.3. Adubação . . . . .	08
2.1.4. Sintomas da Falta de Adubação . . . . .	09
2.1.5. Tipos de Adubação . . . . .	10
2.5.1.1. Adubação Química . . . . .	10
2.5.1.2. Adubação Orgânica . . . . .	13
2.1.6. Escolha Entre Adubações . . . . .	13
2.1.7. Cobertura Morta . . . . .	15
2.1.8. Adubo Verde . . . . .	15
2.1.9. Custos das Adubações . . . . .	16
2.1.10. Custos de Cultivo . . . . .	16
2.2. Instalações para a Criação . . . . .	16
2.2.1. A Sirgaria (Barracão) . . . . .	17
2.2.1.1. Camas de Criação . . . . .	17
2.2.1.2. Depósito de Folhas . . . . .	17
2.2.1.3. Bosques . . . . .	18
2.3. O Bicho-da-Seda . . . . .	19

2.3.1.	Biologia do Bicho-da-Seda . . . . .	20
2.3.1.1.	O Ovo . . . . .	20
2.3.1.2.	A Larva . . . . .	20
2.3.1.3.	A Crisálida . . . . .	22
2.3.1.4.	A Mariposa . . . . .	23
2.4.	Prevenção contra Doenças . . . . .	23
2.5.	Prevenção Contra Formigas . . . . .	25
2.6.	Forragem das Camas com Cal Hidratada . . . . .	25
2.7.	Desinfecção das Lagartas . . . . .	25
2.8.	Aplicação de Cal Hidratada nas Camas . . . . .	26
2.9.	Pedido de Lagartas . . . . .	27
2.10.	O Bicho-da-Seda na Terceira Idade . . . . .	28
2.10.1.	Espaçamento . . . . .	28
2.10.2.	Consumo de Folhas . . . . .	29
2.10.3.	Número de Tratos Diários . . . . .	30
2.10.4.	Quantidade de Folhas Expostas em Cada Trato . . . . .	31
2.11.	O Bicho-da-Seda na Quarta Idade . . . . .	31
2.11.1.	Espaçamento . . . . .	32
2.11.2.	Consumo de folhas . . . . .	32
2.11.3.	Número de Tratos Diários . . . . .	33
2.11.4.	Quantidade de Folhas Expostas em Cada Trato . . . . .	33
2.12.	O Bicho-da-Seda na Quinta Idade . . . . .	33
2.12.1.	Limpeza do Barracão . . . . .	34
2.12.2.	Espaçamento . . . . .	34
2.12.3.	Consumo de Folhas . . . . .	34
2.12.4.	Número de Tratos Diários . . . . .	35
2.12.5.	Quantidade de Folhas Expostas em Cada Trato . . . . .	35
2.13.	Emboscamento . . . . .	36
2.14.	Colheita . . . . .	37
2.15.	Seleção de Casulos . . . . .	37

### CAPÍTULO III

3.	O MODELO MATEMÁTICO . . . . .	40
3.1.	Objetivo . . . . .	40



	ix
3.2. Descrição do Problema . . . . .	41
3.3. Ciclos de Criação . . . . .	43
3.4. Formulação do Modelo . . . . .	44
CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS . . . . .	55
4.1. Resolução . . . . .	55
4.2. Análise dos Resultados . . . . .	57
4.3. Resumo das Atividades Desenvolvidas no Tratamento do Bicho-da-Seda . . . . .	58
CAPÍTULO V	
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES . . . . .	66
5.1. Conclusões . . . . .	66
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros . . . . .	67
APÊNDICE	
A.1. Utilidades do Bicho-da-seda e seus Subprodutos . . . . .	69
A.2. Listagem da Implementação do Problema em GAMS . . . . .	70
A.3. Análise da Solução . . . . .	74
A.4. Análise de Sensibilidade . . . . .	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	79

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Cama de Criação . . . . .	17
FIGURA 2.2 - Planta de Um Barracão . . . . .	18
FIGURA 2.3 - Bosque para Encasulamento . . . . .	19
FIGURA 2.4 - Larva do Bicho-da-Seda . . . . .	21
FIGURA 2.5 - Casulo . . . . .	22
FIGURA 2.6 - Crisálida do Bicho-da-Seda . . . . .	22
FIGURA 2.7 - Mariposa . . . . .	23
FIGURA 2.8 - Cama de Criação com Larvas na Terceira Idade	28
FIGURA 4.1 - Fluxograma Relativo à Terceira Idade . . . . .	63
FIGURA 4.2 - Fluxograma Relativo à Quarta Idade . . . . .	64
FIGURA 4.3 - Fluxograma Relativo à Quinta Idade . . . . .	65

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.1	-	Produção de Casulos no Brasil em Toneladas	04
QUADRO 1.2	-	Vendas de Fios de Seda no Brasil em Toneladas	06
QUADRO 1.3	-	Produção Mundial de Fios de Seda em 1990	06
QUADRO 2.1	-	Adubos Químicos Simples	10
QUADRO 2.2	-	Produção Média por Planta (kg) da Parte Aérea nos Quatro Ensaios Realizados na UNESP	14
QUADRO 2.3	-	Produção Média por Planta (kg) da Parte Aérea	14
QUADRO 2.4	-	Tempo de Alimentação e Repouso em Cada Idade	21
QUADRO 2.5	-	Quantidade Máxima de Larvas por m <sup>2</sup> em Cada Dia da Terceira Idade	29
QUADRO 2.6	-	Consumo de Folhas/Hora em Gramas por Grama de Larvas na Terceira Idade	29
QUADRO 2.7	-	Quantidade Máxima de Larvas por m <sup>2</sup> em Cada Dia da Quarta Idade	32
QUADRO 2.8	-	Consumo de Folhas/Hora em Gramas por Grama de Larvas na Quarta Idade	33
QUADRO 2.9	-	Quantidade Máxima de Larvas por m <sup>2</sup> em Cada Dia da Quinta Idade	34
QUADRO 2.10	-	Consumo de Folhas/Hora em Gramas por Grama de Larvas na Quinta Idade	35
QUADRO 2.11	-	Porcentagens de Outros Tipos de Casulos entre os Casulos de Primeira e o Desconto Correspondente do TSL	39
QUADRO 3.1	-	Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 3ª Idade	40
QUADRO 3.2	-	Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 4ª Idade	40
QUADRO 3.3	-	Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 5ª Idade	41
QUADRO 3.4	-	Custos e Consumos de Insumos Utilizados na Criação	41

QUADRO 4.1	-	Alguns Resultados Obtidos da Simulação do Problema . . . . .	56
QUADRO 4.2	-	Dados dos Criadores A, B, C, D, E e F . . . .	56
QUADRO 4.3	-	Resultados Obtidos da Simulação Considerando-se as Mesmas Condições de Trabalho . . . . .	56
QUADRO 4.4	-	Resultados Obtidos da Simulação Considerando-se o Amoreiral Devidamente Tratado . . . . .	58
QUADRO A.1	-	Sensibilidade para Algumas Variáveis do Modelo . . . . .	77
QUADRO A.2	-	Sensibilidade para os Limites das Restrições do Modelo . . . . .	78

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Descrição

No presente trabalho apresenta-se um estudo da sericicultura no que diz respeito à fertilização da amoreira e à criação do bicho-da-seda. Inicia-se com uma descrição das variedades de amoreira mais utilizadas, fazendo, em seguida, uma rápida abordagem sobre o bicho-da-seda: seu modo de vida, o local onde é criado e algumas práticas necessárias na criação. O trabalho encerra-se com a formulação de um modelo matemático para otimização da produção de casulos e uma análise dos resultados obtidos.

### 1.2. Objetivos

Um dos objetivos é estabelecer a forma mais adequada de fertilização do solo, evidenciando-se o melhor tipo de adubação. Outro objetivo é fornecer medidas a serem adotadas na criação do bicho-da-seda, tais como quantidade de larvas a ser criada, quantidade de folhas a ser exposta em cada trato, número máximo de larvas por metro quadrado em cada dia, etc, a fim de que o lucro na produção seja máximo.

### 1.3. Motivação

A sericicultura no Brasil teve sua origem no Estado do Rio de Janeiro, passando para Minas Gerais e São Paulo. Porém, somente o Estado de São Paulo obteve prosperidades no ramo. Pode-se, então, dizer que São Paulo foi o Estado pioneiro da atividade. A sericicultura passou por várias crises de mercado até 1973, mas no geral, antes disso, a produção vinha registrando crescimento ano a ano.

Do Estado de São Paulo a sericicultura atingiu outros

estados do Brasil, como Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Norte, Goiás, Santa Catarina e Paraná. Ocorreu todavia que, a partir de 1975, a produção no Estado de São Paulo começou a cair, sendo a causa principal o efeito de práticas inadequadas no cultivo da amoreira e na criação do bicho-da-seda. Por outro lado, os demais estados apresentavam crescimento na produção, sendo que o Paraná foi o Estado com maior destaque, mantendo atualmente 70% da produção nacional. Este fato é devido ao aumento do número de criadores nos últimos anos. Alguns destes criadores no entanto, a exemplo do que aconteceu no Estado de São Paulo, são mal informados a respeito das práticas adequadas. Por isso, as indústrias instaladas no Estado do Paraná, bem como órgãos públicos voltados para a agricultura, como EMATER e ACARPA, temem que nos próximos anos a sericicultura paranaense venha a ter declínio na produção, como ocorreu em São Paulo. Na verdade já houve casos em que a produção obtida vinha atingindo índices muito baixos, ocorrendo, por este motivo, o abandono ou a troca da atividade sericícola por outra, como pastagens por exemplo.

Este trabalho, portanto, teve sua origem fundamentada na preocupação de se contribuir para manter a atividade não só estável, mas ampliá-la nos próximos anos. A principal importância do trabalho está no recurso que oferece para aumentar a produção de casulos, através de uma melhor utilização dos fatores de produção.

Vale ressaltar, aqui, que a maioria das informações constantes nesse trabalho foram obtidas junto à entidades do Paraná, como Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Fiação de Seda Bratac S/A, Cooperativa do Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá (COCAMAR) e Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá.

#### 1.4. Estrutura do Trabalho

O trabalho acha-se dividido em quatro capítulos e um apêndice.

O primeiro capítulo relata alguns dados estatísticos da sericicultura, apresentando também as expectativas para o Brasil no mercado da seda.

O segundo capítulo trata da cultivo dos amoreirais, do ambiente de criação do bicho-da-seda, e de algumas práticas necessárias na criação.

No capítulo três encontram-se o objetivo e a formulação do modelo matemático para a otimização da produção de casulos.

O capítulo quatro contém uma análise de resultados obtidos por simulações.

No capítulo cinco acham-se as conclusões obtidas e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente, o apêndice contém a implementação do modelo matemático segundo o pacote de software GAMS (General Algebraic Modeling System), algumas utilidades do bicho-da-seda e de seus subprodutos e uma análise da solução do problema, com respeito a otimalidade.

### 1.5. Considerações Históricas

A criação do bicho-da-seda, sericicultura, teve sua origem na China, por volta do ano 3000 a.C. Durante muito tempo as técnicas de criação do bicho-da-seda e do cultivo da amoreira foram mantidas em segredo pelos chineses, com aplicação de castigo severo, como pena de morte, àqueles que revelassem tais segredos a outros povos ([22] - Okino p. 9).

Na Europa, o bicho-da-seda só foi introduzido no ano 553 da era cristã em Constantinopla. A partir daí, a sericicultura foi se expandindo aos poucos até chegar em Veneza. Na França, sua criação teve início no ano de 1340 ([15] - Fonseca p. 1).

No Brasil, as primeiras mudas de amoreira plantadas foram trazidas por D. João VI em 1808. Todavia, a sericicultura só foi iniciada em 1848 em Itaguaí, Rio de Janeiro ([15] - Fonseca p. 9). Desde que começou, a sericicultura tem passado por expansões e também por várias crises mas, atualmente, o mercado acha-se bem equilibrado.

### 1.6. Alguns Dados Estatísticos

Atualmente, a sericicultura vem sendo praticada em sete estados brasileiros: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Espírito

Santo e Rio Grande do Sul.

A produção anual de cada estado no período de 1984 a 1992 está apresentada no Quadro 1.1.

Quadro 1.1 - Produção de Casulos no Brasil em Toneladas

ANO SAFRA	ESTADO									TOTAL
	SP	PR	MG	GO	MS	RN	SC	RS	ES	
1984/85	5428	5262	28	80	205	5	-	-	-	11000
1985/86	5024	5966	27	103	255	7	1	-	-	11353
1986/87	4396	5830	20	80	239	7	3	-	-	10537
1987/88	4570	6829	16	95	293	10	17	-	-	11830
1988/89	3809	7216	10	97	282	4	52	-	-	11470
1989/90	4669	10428	18	132	448	17	117	-	-	15829
1990/91	4413	12006	7	149	473	33	140	-	-	17221
1991/92	3891	12803	-	138	517	12	204	13	8	17586

Fonte: ABRASSEDA

Como se pode ver na tabela, os estados de São Paulo e Minas Gerais tiveram uma produção, em geral, decrescente no período citado, ao passo que outros estados como Mato Grosso do Sul e principalmente Paraná tiveram uma produção, em geral, crescente no período. Vê-se ainda que na safra 1984/85, São Paulo tinha 74,4% da produção nacional e o Paraná apenas 23,9%. Na safra de 1991/92, no entanto, o quadro é totalmente revertido, sendo que São Paulo deteve 22,12%, enquanto que o Estado do Paraná foi responsável por 72,8% da produção.

O município de Nova Esperança, no Estado do Paraná, é chamado "A Capital Nacional do Casulo", por ser o maior produtor do país. Atualmente, conta com mais de 700 produtores, possui uma área de 6.200 ha de amoreira e produz cerca de 2.700 toneladas de casulos anuais (Fonte: EMATER).

A nível mundial, a sericicultura é praticada em mais de 30 países, sendo a maioria asiáticos e europeus. A China detém a maior produção de casulos, sendo seguida pela Índia, ex-URSS, Brasil e Japão. Quanto à produção de fios, a China é o maior produtor, sendo seguida pela Índia, Japão, ex-URSS e Brasil (Fonte: Japan Raw Silk Corporation).



### 1.7. Possibilidades para o Brasil no Mercado Mundial da Seda

A produção de fios de seda, que é um produto bastante cobiçado pelos países do Primeiro Mundo, não é um privilégio de todos, por causa de condições climáticas desfavoráveis. Além disso, alguns países como o Japão, Tailândia, Coreia do Sul, etc., têm outro tipo de problema: a escassez de mão-de-obra para o desenvolvimento da atividade. O Japão, por exemplo, até 1982, era segundo maior produtor mundial. A partir daí, sua produtividade veio caindo ano a ano, sendo que sua produção passou a ficar longe da quantidade necessária para suprir o mercado interno. Na tentativa de amenizar a situação, foi preciso investir cada vez mais em tecnologia para a substituição da mão-de-obra. Esta tentativa, no entanto, não foi bem sucedida devido ao encarecimento elevado da produção. Por este motivo o Japão passou a importar praticamente toda a matéria-prima que consome, de outros países como China e Brasil, que não consomem tudo o que produzem. Na verdade, entre os maiores produtores de seda, apenas o Brasil e a China são países exportadores, sendo que o Brasil exporta 97% de sua produção total. A exportação de casulos e fios de seda, no entanto, não é o ideal para o Brasil, em face da quantidade de casulos que produz. Há uma necessidade cada vez mais crescente de que o Brasil passe a produzir tecidos de alto nível para comercialização no mercado externo. Na verdade este fato ainda não se concretizou porque os equipamentos de tecelagem brasileiros já se encontram totalmente ultrapassados. Além disso o incentivo para a produção de tecidos de seda foi ficando cada vez mais prejudicado à medida em que o consumo interno foi diminuindo, devido à crise econômica em que o Brasil mergulhou (veja Quadro 1.2). Em vista disso, a produção de tecidos deveria ter como objetivo o mercado externo. Como a importação de tecnologia tinha um custo muito alto, a produção de tecidos de seda estava ficando cada vez mais impraticável. Hoje, no entanto, com a mudança da política dos impostos de importação, empresários brasileiros começam a pensar mais firmemente neste assunto, contando ainda com o interesse de um grupo chinês que articula a construção de um complexo industrial na cidade de Maringá, Paraná, fornecendo equipamentos e tecnologia chinesa.

Na cidade de Nova Esperança, no Estado do Paraná, está sendo montada uma tecelagem que irá produzir 500.000 metros de tecido de seda por ano. O equipamento conta com tecnologia brasileira, desenvolvida no Estado de São Paulo e, por enquanto, tem em vista apenas o MERCOSUL, com possibilidade de ampliação nos próximos anos. Apesar de ser apenas um início, o Brasil pode,

Quadro 1.2 - Vendas de Fios de Seda no Brasil em Toneladas

Ano Base	Mercado Interno		Mercado Externo		Total
1984	230	15,3	1269	84,7	1499
1985	342	21,7	1235	78,3	1577
1986	513	31,4	1120	68,6	1633
1987	528	33,4	1051	66,6	1579
1988	464	27,4	1228	72,6	1692
1989	478	27,0	1292	73,0	1770
1990	331	19,0	1413	81,0	1744
1991	289	14,2	1745	85,8	2034
1992	70	3,0	2300	97,0	2370

Fonte: ABRASSEDA

com isto, estar dando um passo importante no mercado internacional, principalmente Japão, de onde emanam praticamente todos os produtores de fios de seda aqui instalados, além de ser o principal comprador do nosso produto.

Quadro 1.3 - Produção Mundial de Fios de Seda em 1990 (Milhares de Toneladas)

País	Produção	Porcentual
China	40,800	59,30
Índia	11,490	16,70
Japão	5,718	8,30
ex-URSS	4,092	5,90
Brasil	1,692	2,50
Coreia do Norte	1,380	2,00
Tailândia	1,140	1,60
Coreia do Sul	0,948	1,40
Vietnam	0,498	0,70
Turquia	0,210	0,30
Outros	0,870	1,30

Fonte: Japan Silk Corporation

## CAPÍTULO II

### DESCRIÇÃO GERAL DA SERICICULTURA

#### 2.1. A Amoreira

As folhas de amoreira são o alimento básico para o bicho-da-seda, podendo ser utilizadas também na alimentação de bovinos, caprinos, ovinos, etc. Acredita-se que a amoreira seja nativa da China ou da Índia, tendo sua origem nas encostas do Himalaia ([15] - Fonseca, p. 7).

A amoreira é uma planta perene, com suco leitoso e vive muitos anos. Se ela puder crescer livremente, pode atingir até 25 metros de altura. Existem diversas variedades de amoreira, sendo que as folhas variam na forma e no tamanho, de uma variedade para outra. Esta é uma das características que se devem observar na seleção de uma variedade de alta produtividade.

##### 2.1.1. Variedades

As variedades de amoreira mais comuns são: Formosa, Miura, Iamada, Calabresa, Rosa, Rosol, Fernão Dias, Lopes Lins, Serra das Araras, Hungareza, Branca da Espanha, Talo Roxo, Tietê, Campinas, Nostrana, Selvagem, Kori, Ioshiana e outras. Na escolha da variedade há alguns critérios a serem observados, como maior produtividade de folhas, rapidez na brotação, resistência a doenças, espessura das folhas, resistência a variações climáticas, etc. No Brasil, as variedades mais cultivadas são a Calabresa, a Formosa e a Miura, pois são as que mais correspondem às exigências citadas acima.

##### 2.1.2. Calagem do Solo

A acidez inadequada do solo prejudica o bom desenvolvimento do amoreiral. Por isto, é importante que se faça sua correção através da aplicação de calcário. Para determinar a acidez, é necessário fazer o que se chama de análise do solo. Emprega-se o termo pH (porcentual de hidrogênio) para indicar o grau de acidez. Quando o pH está em 7, o solo está em equilíbrio. Quanto mais abaixo de 7 o pH, mais ácido estará o solo. Com pH

acima de 7, diz-se que o solo está alcalino e estará tanto mais alcalino quanto mais acima de 7 estiver o pH. O pH ideal não é o mesmo para todas as plantas, mas para o caso da amoreira ele está na faixa de 6,2 a 6,5. O principal dano causado pela acidez elevada é a dissolução de alumínio e manganês na água que permanece no solo. À medida que a acidez aumenta, a quantidade de alumínio dissolvido também aumenta. Uma boa parte do alumínio dissolvido liga-se ao fósforo existente no solo, tornando-o insolúvel, impedindo que a planta o absorva, o que resulta em carência deste elemento por parte da planta. Além do fósforo, o alumínio também impede que a planta absorva cálcio do solo. Assim como o alumínio, o manganês também se dissolve na água do solo quando há excesso de acidez. No entanto, o que ocorre é que a planta o absorve em excesso, o que a prejudica. A acidez inadequada também impede a proliferação de certas bactérias úteis na decomposição da matéria orgânica, acarretando atraso neste processo.

### 2.1.3. Adubação

A adubação do amoreiral é um fato vital na sericicultura. Existe hoje, no Estado do Paraná, uma grande preocupação a respeito disto, pois as culturas existentes não estão sendo adubadas. De acordo com a EMATER, apenas 10% da área total foi adubada em 1992. Os sericicultores alegam que o custo da adubação está muito elevado e, por isto, não a fazem. Outro fato é que os sericicultores normalmente desconhecem a importância da adubação ou, às vezes, não acreditam muito nela. O Estado de São Paulo, que já foi o maior produtor de seda do Brasil, tem hoje sua produção drasticamente reduzida (veja no Quadro 1.1 como a produção do Estado tem caído ano a ano). Esta queda é devida principalmente à diminuição da quantidade de amoreira plantada. Tendo sido basicamente pioneiro na atividade sericícola, suas lavouras, em grande parte, eram já bastante antigas quando iniciou-se a expansão da cultura nos demais estados. Como as plantações paulistas não foram devidamente tratadas, o solo foi se esgotando e, com isto, foi baixando a produtividade de folhas. Vê-se ainda no Quadro 1.1 que, enquanto em São Paulo a produção

vem caindo, nos demais estados, com exceção de Minas Gerais, a produção tem aumentado ano a ano, chegando, em alguns casos, a duplicar de um ano para outro. No entanto, caso as lavouras não sejam cuidadas, teme-se que, em breve, o caminho que a sericicultura de São Paulo está seguindo venha a ser seguido também por outros estados produtores de seda.

Todo solo cultivado, com o passar do tempo, vai perdendo sua fertilidade por causa da retirada de seus nutrientes pela planta, seja ela qual for, e também por erosões, pois mesmo que o solo esteja bem protegido, poderá haver a erosão laminar.

Para produzir seus galhos, a amoreira retira do solo os nutrientes que precisa. Quando se faz a colheita para alimentar as larvas, a planta recomeça todo o trabalho de absorção para formar novos galhos. Depois de alguns anos de cortes freqüentes, o solo fica esgotado e os nutrientes<sup>1</sup> precisam ser devolvidos ao solo através da adubação para que a amoreira possa produzir. Se ela compensa ou não os gastos com adubação, será visto posteriormente.

A amoreira é constituída por muitos elementos químicos, alguns deles em proporção mínima, os micronutrientes e outros em escala mais alta, os macronutrientes. Dentre os elementos macronutrientes constituintes da amoreira destacam-se cálcio, fósforo, potássio e nitrogênio. Normalmente os elementos que se procura devolver ao solo com mais freqüência são o potássio, o fósforo e o nitrogênio, uma vez que o cálcio é fornecido quando se controla a acidez.

#### 2.1.4. Sintomas de Falta de Alguns Nutrientes

**Falta de Nitrogênio:** O crescimento da planta torna-se lento. As folhas, principalmente as mais velhas, perdem sua coloração verde normal adquirindo uma coloração verde-clara. Os ramos vão ficando atrofiados e as folhas mais velhas secam e caem. A quantidade de radículas (raízes mais finas) diminuem, a

---

<sup>1</sup>Há alguns elementos que a amoreira consome em pequena quantidade que são chamados de micronutrientes. Em geral, não existe preocupação em repor estes elementos através da adubação, pois são de pouca importância para a amoreira.

planta perde a capacidade de produzir sementes e, quando o faz, elas ficam menores do que as normais.

**Falta de Fósforo :** De início as folhas já maduras apresentam uma coloração amarelada no limbo. As bordas das folhas ficam queimadas e podem desprender-se facilmente da planta.

**Falta de Potássio:** Provoca uma necrose nas bordas das folhas. A planta fica mais exposta à doença da Podridão da Raiz, o que faz com que seu crescimento fique prejudicado.

**Falta de Cálcio:** As folhas não se desenvolvem de modo satisfatório, e a coloração passa a ficar mais clara, principalmente nas bordas. Posteriormente, aparecem pontos marrons no limbo das folhas. As radículas da planta não se desenvolvem direito, os galhos crescem menos e o solo fica ácido.

#### 2.1.5. Tipos de Adubação

As duas formas principais de adubação são a adubação química e adubação orgânica. Todavia, há outras formas complementares de se fornecer nutrientes ao solo, como adubação verde e cobertura morta. Estes processos estão descritos a seguir.

Quadro 2.1 - Adubos Químicos Simples

Adubos	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Nitrato de Amônia	33	-	-
Nitrato de Cálcio	14	-	-
Sulfato de Amônia	20	-	-
Uréia	45	-	-
Salitre do Chile	15	-	-
Superfosfato Simples	-	18 a 21	-
Superfosfato Triplo	-	42 a 48	-
Cloreto de Potássio	-	-	60
Sulfato de Potássio	-	-	52

Fonte: ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos.

##### 2.1.5.1. Adubação Química

É aquela feita por meio de substâncias sintéticas contendo os elementos químicos que se deseja. No caso da amoreira, os nutrientes que geralmente se procura fornecer através de adubação química são nitrogênio, fósforo e potássio,

comumente referidos como NPK. O cálcio, que também é essencial para a amoreira, é fornecido separadamente, na calagem do solo. Os elementos NPK, por razões diversas, não são encontrados isoladamente. Por esse motivo, esses elementos são normalmente fornecidos à amoreira por meio de substâncias que os contêm, desde que a amoreira possa utilizá-las durante o seu metabolismo. Geralmente, o fósforo é fornecido através do  $P_2O_5$  (pentóxido de fósforo) e o potássio através do  $K_2O$  (óxido de potássio). Mas ocorre ainda que essas substâncias, regra geral também não são encontradas no mercado. Imagine-se, por exemplo, a dificuldade que se teria para trabalhar com o nitrogênio puro, uma vez que este, nas condições normais de pressão e temperatura, tem a forma de gás. Assim, para se obter NPK, procura-se algum composto que contenha N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ . Há diversos compostos que contêm cada um deles (Quadro 2.1). Essas substâncias são chamadas adubos simples. A obtenção de NPK deve ser feita misturando-se tais substâncias nas proporções desejadas. A escolha a ser feita é a que ficar mais econômica.

Por exemplo, supondo-se que seja necessária uma mistura de NPK nas proporções 10:10:12 (isto significa que na adubação cada planta vai precisar de 10 g de nitrogênio, 10 g de fósforo e 12 g de potássio). Supondo-se ainda que os custos dos adubos simples do Quadro 2.1 sejam todos iguais a uma unidade monetária o grama.

Se forem utilizados:

- Sulfato de Amônia com 20% de N,
- Superfostato Simples com 18% de  $P_2O_5$  e
- Cloreto de Potássio com 60% de  $K_2O$ ,

chega-se facilmente, através de uma regra de três simples, que serão necessárias as seguintes quantidades de cada adubo simples:

- Sulfato de Amônia com: 50 g,
- Superfostato Simples: 55,55 g,
- Cloreto de Potássio: 20 g.

Isso dará um total de 125,55 g de mistura, que resultará num custo de 125,55 unidades monetárias.

Por outro lado, se forem utilizados os adubos simples:

- Uréia com 45% de N,

- Superfostato Triplo com 43% de  $P_2O_5$  e
- Sulfato de Potássio com 50% de  $K_2O$ ,

a quantidade de cada adubo simples será:

- Uréia: 22,22 g,
- Superfostato Triplo: 23,25 g,
- Sulfato de Potássio: 24,00 g.

Isto resultará num total de 69,47 g de mistura, resultando num custo de 69,47 unidades monetárias. Neste caso a segunda opção foi a mais econômica e, portanto, deve ser preferida.

A proporção de cada elemento a ser utilizada, isto é, as quantidades de N, P, e K a serem aplicadas em cada planta na adubação, é obtida através da análise do solo. No entanto, é possível fazer estimativas dessas proporções com base na quantidade que a planta consome por corte e na quantidade de cada um deles já existente no solo. A estimativa é feita da seguinte forma. Sabe-se que nem todo o adubo fornecido ao solo é aproveitado pelas plantas, quaisquer que sejam elas. No caso da amoreira, o aproveitamento de N é de 55%, do  $P_2O_5$  é de 20% e do  $K_2O$  é de 45% em média ([17] - Hanada p. 45).

Exemplo:

Estima-se que uma amoreira retira do solo cerca de 22 g de nitrogênio por corte. Como o aproveitamento é de 55%, isto significa que deveriam ser postas na forma de adubo, 40 g de nitrogênio por planta/corte. Mas, estima-se ainda que dessa parte aproveitada pela planta, ou seja, dos 22 g, 50% já se encontra no solo, isto é, 11 g. Como isso também representa 55% da quantidade que realmente há no solo, essa quantidade é, portanto, de 20 g. Daí, a quantidade a ser aplicada seria  $40 - 20 = 20$  g por planta/corte. A falha desse processo está na estimativa dos resíduos de cada elemento já existente. Na verdade ele varia para cada tipo de solo e, obviamente, é maior em solos mais férteis. Por isto o correto é que se faça a análise do solo para que se obtenha a proporção exata a ser aplicada. Uma adubação com base em estimativas pode ser insuficiente ou pode ser feita com excesso, o que representa prejuízo.



#### 2.1.5.2. Adubação Orgânica

É a adubação feita através de matéria orgânica em estado de decomposição. Podem ser usados esterco de curral, de galinha, torta de mamona ou de amendoim, etc, ou compostos orgânicos obtidos através do processo de fermentação de restos de vegetais como bagaço de cana, ramos de amoreira já utilizados no tratamento das larvas do bicho-da-seda, palha de arroz, etc, em esterqueiras. No Estado do Paraná, o que mais se utiliza é o esterco de galinha. Todavia, a demanda só tem sido atendida porque nem todos os sericicultores têm adubado corretamente suas lavouras. Caso esta demanda não seja atendida pode-se apelar para outros adubos orgânicos, como o composto obtido das esterqueiras.

A aplicação de adubo orgânico, assim como de adubo químico, requer análise do solo para se determinar a quantia correta a ser aplicada.

#### 2.1.6. Escolha entre as Duas Adubações

A escolha terá que ser feita em função do rendimento que cada uma proporciona e do custo gerado. Numa pesquisa realizada no Setor de Sericicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, foram experimentadas adubação química, na proporção 20:10:15, orgânica, de 2 kg de esterco de galinha por planta e adubação foliar na proporção 14:7:4 em cada corte. Esta última não apresentou resultados satisfatórios e, por isto, não será considerada na análise a seguir. O experimento foi realizado em 4 ensaios durante um ano e apresentou os resultados dados nos Quadros 2.2 e 2.3.

Como se pode ver, a adubação orgânica foi a que apresentou melhor resultado, com uma superioridade média de 0,34 kg com relação à adubação química e de 1,32 kg com relação à amoreira sem adubação. Isto significa que, em um alqueire de terra contendo 24000 pés de amoreira, ter-se-ia uma produtividade de folhas (com ramos) de 40560 kg, 72240 kg e 56640 kg, sem adubação, com adubação orgânica e com adubação química, respectivamente. Há, portanto, uma superioridade de 31600 kg do amoreiral com adubação orgânica, em relação ao amoreiral sem adubação, e uma superioridade de 15600 kg do amoreiral com

adubação orgânica em relação ao amoreiral com adubação química. Além de influenciar na produtividade de folhas, a adubação também tem influência no casulo produzido. De acordo com a EMATER, o peso médio dos casulos de bicho-da-seda tratados com amoreira sem

**Quadro 2.2 - Produção Média por Planta (kg) da Parte Aérea nos Quatro Ensaio da Experiência Realizada na UNESP**

Ensaio	Partes da Planta	Tratamento		
		Sem Adubação	Adubação Orgânica	Adubação Química do solo
1º	Ramos (g)	0,76	1,06	0,92
	Folhas (g)	0,95	1,32	1,15
	Total	1,71	2,38	3,07
2º	Ramos (g)	0,58	1,01	0,82
	Folhas (g)	0,83	1,05	0,88
	Total	1,41	2,06	1,70
3º	Ramos (g)	0,78	1,96	1,39
	Folhas (g)	1,12	2,04	1,46
	Total	1,90	4,00	2,85
4º	Ramos (g)	0,83	1,93	1,46
	Folhas (g)	0,88	1,67	1,34
	Total	1,71	3,60	2,80

Fonte: Boletim da Ind. Animal - jan./jun. 1989, p. 157

**Quadro 2.3 - Produção Média por Planta (kg) na Parte Aérea**

Partes da Planta	Tratamento		
	Testemunha Sem Adubação	Adubação Orgânica	Adubação Química do solo
Ramos (g)	0,74	1,49	1,15
Folhas (g)	0,95	1,52	1,21
Total	1,69	3,01	2,36
Coeficiente de Variação (porcentual)	11,90	31,23	23,73

Fonte: Boletim da Ind. Animal - jan./jun. 1989, p. 157

adubação é de 1,6 g, com adubação química é de 1,7 g e com adubação orgânica, 1,85 g. O custo para cada tratamento é

diferenciado, sendo que a adubação orgânica é mais onerosa que a adubação química. Estes custos serão dados posteriormente (veja seção 2.16) e serão utilizados na fase de montagem do modelo matemático para otimização da produção. Neste ponto vale ressaltar que, apesar do aumento que a adubação gera na produção de folhas, os agricultores alegam que os gastos realizados com a mesma não são compensadores. A decisão sobre tal fato fará parte dos resultados obtidos através do modelo.

#### 2.1.7. Cobertura Morta

É uma forragem que se faz no solo com matéria que apodreça, como capim, palha de arroz, ramos de amoreira que foram utilizados no tratamento das larvas do bicho-da-seda, etc. A cobertura morta apresenta várias utilidades como retenção da umidade do solo, proteção contra erosão, fornecimento de microorganismos ao solo, entre outros.

Devido à grande quantidade de matéria que se gasta para fazer esse trabalho, ele se torna muito difícil e, normalmente, tem sido feito em pequenas escalas, mas os resultados são altamente positivos. As lavouras de amoreiras que possuem cobertura morta têm apresentado uma produtividade de até 70% superior às testemunhas descobertas e sem nenhum tipo de tratamento.

#### 2.1.8. Adubo Verde

São vegetais que se plantam no meio das lavouras com a finalidade de obter matéria para auxiliar na adubação do solo. Esses vegetais são plantados e, após o seu crescimento, são cortados, sendo alguns enterrados e outros deixados na superfície do solo. O adubo verde fornece vários benefícios como melhoria na retenção da umidade, fornecimento de microorganismos úteis ao solo, impedimento do desenvolvimento de ervas daninhas, aumento do húmus do solo, etc. Existem diversas variedades que podem ser utilizadas no amoreiral como feijão de porco, mucuna anã, mucuna branca, alfafa, crotalária e outras.

Muito embora o adubo verde tenha uma utilidade muito grande para as lavouras, o seu plantio em amoreirais ainda é

muito reduzido, sendo que os agricultores alegam que eles dificultam a manutenção do amoreiral.

#### 2.1.9. Custos das Adubações

Nos casos de adubação verde não se consideram custos, visto que são apenas plantações feitas pelo próprio sericicultor. O único custo é aquele referente às sementes, mas este é desprezível, pois a quantidade gasta não é tão expressiva.

Os custos das adubações química e orgânica dependem da quantidade aplicada. Essa quantidade deve ser determinada através da análise química do solo. Todavia, no Estado do Paraná a média necessária tem sido de 0,5 kg de esterco de galinha ou, para a aplicação de NPK, a fórmula recomendada tem sido 20:05:20 (Fonte: EMATER). Atualmente, o esterco de galinha custa em torno de 0.0056 dólares<sup>2</sup> por planta/corte. A adubação química está custando cerca de 0.003 dólares por planta/corte, caso se utilize a fórmula acima, e a aplicação de calcário, 0.003 dólares por planta/corte (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

#### 2.1.10. Custos de Cultivo

Uma vez que a amoreira é cultivada pelo próprio criador do bicho-da-seda, não são contabilizadas despesas de cultivo. Caso o produtor possua trator, o que é muito raro, haverá despesas com o consumo de combustível. Há vários produtores que possuem serra motorizada para fazer a poda do amoreiral e, neste caso, há despesas de manutenção, embora estas sejam mínimas. Há diversos outros gastos mas que não são fixos, isto é, são diferentes para cada produtor. Para propósito deste trabalho, eles serão chamados de gastos gerais. Alguns sericicultores costumam contratar mão-de-obra na ocasião da criação do bicho-da-seda. Este fato será levado em consideração no modelo matemático e será retomado posteriormente.

#### 2.2. Instalações para a Criação

Abrange o local de criação e os utensílios utilizados

---

<sup>2</sup>Todos os preços encontrados neste texto são referentes a julho de 1993.

para a mesma.

### 2.2.1. A Sirgaria (Barracão)

A sirgaria, mais conhecida como barracão, é o local onde se cria o bicho-da-seda (sirgos). Trata-se de uma construção simples que pode ser de madeira ou tijolos.

#### 2.2.1.1. Camas de Criação

As camas são cercados feitos no chão, de tábuas ou tijolos (Figura 2.1). Têm como objetivo "prender" as lagartas e criar espaços (corredores) para que se trabalhe dentro do barracão.

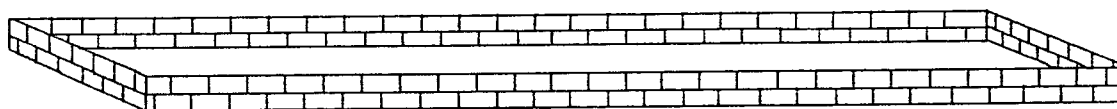


Figura 2.1 - Cama de Criação.

Um barracão contém normalmente duas ou três camas, mas quase a totalidade possui três. A razão é que a construção fica mais econômica e diminui a extensão do barracão, o que faz com que as extremidades das camas fiquem mais próximas do depósito de folhas (veja 2.8.2). Este fato facilita o trabalho de tratamento das lagartas. A disposição das camas no interior do barracão está esquematizada na Figura 2.2 na página seguinte.

#### 2.2.1.2. Depósito de Folhas

Durante o dia, quando o sol está muito quente, a colheita de folhas não pode ser efetuada, pois as mesmas murcham rapidamente. Por isso, a colheita deve ser feita bem de manhã ou à tarde, quando o sol estiver menos intenso. Estas folhas são então guardadas num compartimento anexo ao barracão chamado

depósito, para serem utilizadas nos horários de tratamento das lagartas. Sua área deve ser de aproximadamente 10% da área do barracão.

É bom que se saiba que um depósito com formato quadricular é mais econômico. Por exemplo, um depósito de formato retangular com dimensões 7 x 5 m encerra uma área de 35 m<sup>2</sup>, enquanto um de formato quadricular com dimensões 6 x 6 m dá uma área de 36 m<sup>2</sup>. Veja que em ambos os casos a quantidade de parede é a mesma, a saber, 24 m.

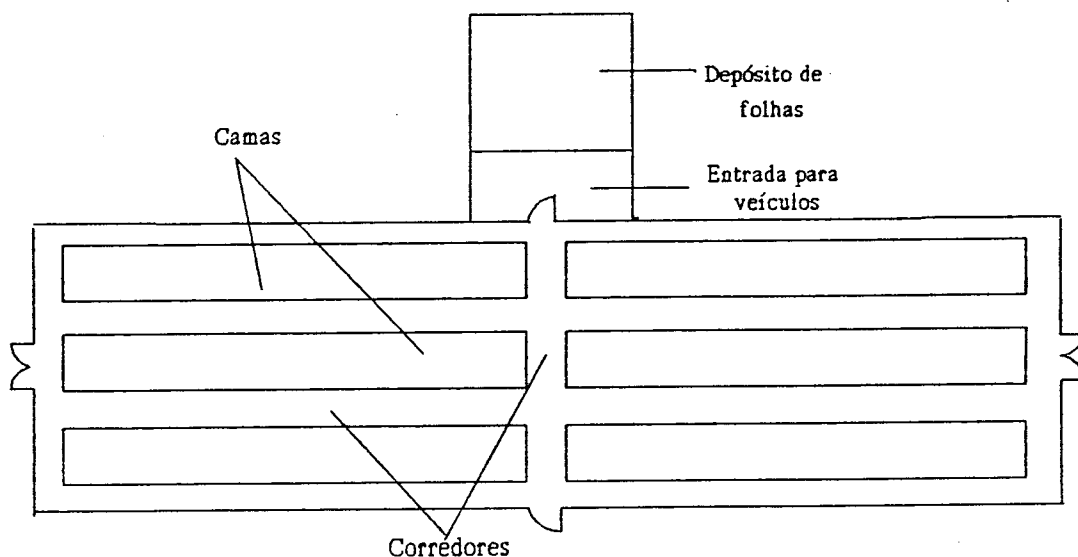


Figura 2.2 - Planta de um Barracão.

#### 2.2.1.3. Bosques

Como já mencionado anteriormente, as larvas do bicho-da-seda são tratadas nas camas. Todavia, na hora de construir o casulo, elas precisam de um lugar adequado. O bicho-da-seda constrói seu casulo suspenso em um emaranhado de fios, os quais precisam ser fixados em pontos apropriados. Os bosques são, então, objetos que possibilitam às lagartas a fixação de tais fios para a construção de seus casulos (Figura 2.3).

Há alguns anos, os bosques mais utilizados eram construídos de sapé, bambu e outros materiais. Mais tarde, foram sendo substituídos por bosques de plástico, que eram mais

práticos e duráveis. Com o aparecimento dos bosques de papelão, que possibilitam a obtenção de casulos de melhor qualidade, os bosques de plástico também ficaram ultrapassados. Muitos sericicultores ainda utilizam os bosques de plástico, mas a maioria já utiliza os de papelão.

Durante o período de tratamento das lagartas os bosques ficam pendurados por cima das camas. Quando as lagartas atingem o ponto de fazer casulo, adquirem uma tendência natural de procurar um local apropriado para fazê-lo, em geral para cima.

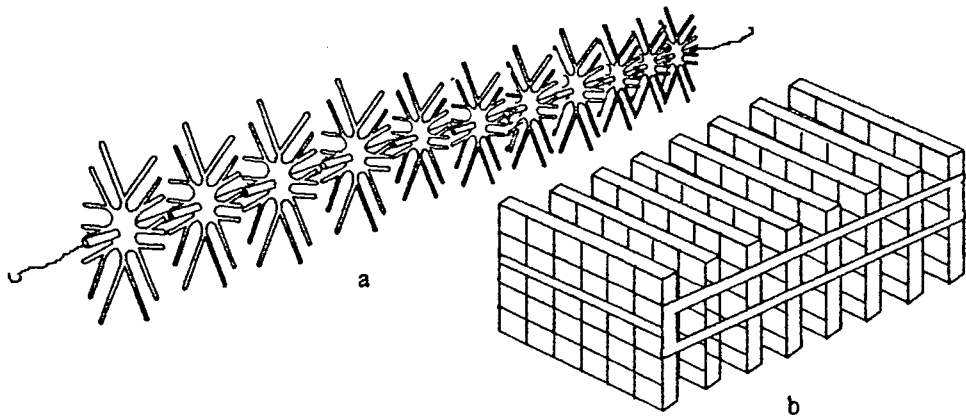


Figura 2.3. Bosques para Encasulamento.  
a) Bosque de plástico. b) Bosque de papelão.

Neste momento, os bosques devem ser colocados sobre elas para que subam e iniciem o encasulamento. Após terem subido, os bosques são novamente pendurados e ali permanecem até que os casulos estejam prontos para serem colhidos (veja mais detalhes na seção 2.20 - Emboscamento).

### 2.3. O Bicho-da-Seda

Existem várias espécies de bicho-da-seda conhecidas em todo o mundo. As características variam de uma espécie para outra podendo ser no tamanho, no tempo de vida, na resistência ao frio

e ao calor, no tipo de alimentação, etc. A espécie criada no Brasil pertence à família Bonbicydae e se alimenta de folhas de amoreira.

Nota: Neste texto toda referência será feita com respeito a essa espécie.

### 2.3.1. Biologia do Bicho-da-Seda

O bicho-da-seda passa por quatro estágios, sendo eles ovo, larva, crisálida e mariposa, descritos abaixo.

#### 2.3.1.1. O Ovo

Ao ser posto pela mariposa, o ovo possui cor amarelada e vai ficando cinzento com o passar dos dias. O peso de um ovo é de aproximadamente 0,0005 g, o que quer dizer que um grama contém cerca de 2000 ovos. Para eclodir, os ovos precisam estar em condições apropriadas. A incubação é feita em chocadeiras nas indústrias que comercializam o produto.

#### 2.3.1.2. A Larva

A larva recém-nascida é escura e possui pequenas cerdas por todo o corpo. Os pêlos do corpo da larva caem em poucos dias e esta vai se tornando cada vez mais clara. Na fase adulta ela se torna branca cor de leite. Como todo inseto, o seu corpo divide-se em cabeça, tórax e abdômen. Tem forma cilíndrica e possui treze segmentos, três torácicos e dez abdominais (Figura 2.4).

O corpo da larva possui nove pares de espiráculos (orifícios por onde respira), sendo que um par situa-se no primeiro anel e os restantes são dispostos do quarto ao décimo primeiro anel.

Ao nascer, a larva é muito pequena, pesando cerca de 0,0004 g. Seu crescimento, no entanto, é bastante rápido e com apenas três semanas, seu peso atinge cerca de 10 mil vezes o peso inicial. Durante o seu período de vida o bicho-da-seda normal troca de pele quatro vezes, passando portanto por cinco períodos, denominados idades. Assim, ao nascer a larva está na primeira idade. No terceiro dia de vida as larvas entram num período de



dormência, permanecendo imóveis. Neste período ocorre a formação de uma nova pele. A pele antiga é trocada depois de cerca de 20 horas de repouso, quando as lagartas acordam e entram na segunda idade. Pouco antes de dormir, as lagartas sobem nas folhas fornecidas e constroem sobre elas uma "cama", um emaranhado de fios sobre o qual vão dormir. O objetivo é fazer com que as patas

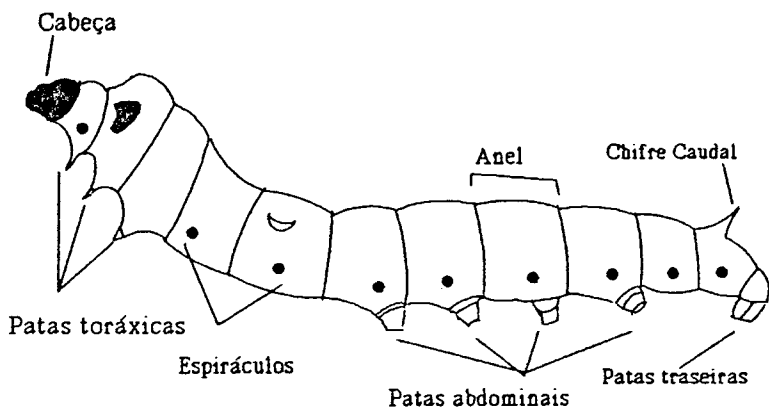


Figura 2.4 - Larva do Bicho-da-Seda.

fiquem fixas na folha para facilitar a muda de pele. Quando acorda, a larva rompe a pele antiga pela parte anterior, na posição da cabeça, e se dirige para a frente, deixando a antiga pele para trás. Esse processo se repete mais três vezes, de modo que a lagarta passa pela primeira, segunda, terceira, quarta e quinta idade. Nas três primeiras idades diz-se que a lagarta está na fase jovem, enquanto que nas duas últimas diz-se que a lagarta

Quadro 2.4. Tempo de Alimentação e de Repouso em Cada Idade.

Idade	Período de Alimentação	Período de Repouso
1ª	3 dias	22 horas
2ª	2 dias	20 horas
3ª	3 dias	24 horas
4ª	4 dias	30 horas
5ª	8 dias	-

Fonte: [15] - Fonseca, p. 98

está na fase adulta. A duração de cada idade, isto é, o período de alimentação em cada idade, bem como o período de repouso,

varia de uma idade para outra. O Quadro 2.4 mostra estas variações. Vale ressaltar também que esse tempo pode variar com a temperatura. Ele será maior caso a temperatura caia abaixo de 20°C ou menor se a temperatura subir acima de 30°C.

Ao terminar a última fase, quinta idade, o bicho-da-seda pára de comer e seu corpo fica amarelado e transluzente. Neste ponto, diz-se que as lagartas estão maduras, pois estão prontas para fazerem seus casulos, que é um envólucro de seda na qual irá permanecer até se transformar em mariposa (Figura 2.5). Depois de maduras, as lagartas procuram um lugar adequado para iniciar seus casulos. O fio de seda com o qual a lagarta constrói o casulo é expelido por um orifício situado próximo à boca. Na verdade a lagarta expelle um líquido viscoso que, ao entrar em contato com o ar, torna-se ressecado, formando um fio. Uma lagarta produz cerca de 1200 m de fio e a confecção do casulo leva em torno de quatro dias. Após terminado o casulo, o bicho-da-seda passa para uma nova fase depois de dois dias, a fase de crisalidação.



Figura 2.5 - Casulo do Bicho-da-Seda

#### 2.3.1.3. A Crisálida

Após cerca de dois dias do término do casulo, a pele da lagarta se rompe e esta passa à fase de crisalidação. A crisálida vive de substâncias reservadas durante a fase larval. Seu corpo tem forma elipsoidal (Figura 2.6) e é totalmente coberto por uma película de cor amarelo-claro no início desta fase, tornando-se marrom-claro depois de alguns dias. A colheita dos casulos deve ser feita quando a crisálida já tiver atingido esta coloração marrom-claro, cerca de cinco dias após o encasulamento. Antes desta fase o corpo da crisálida rompe-se com facilidade e deve



Crisálida fêmea



Crisálida macho

Figura 2.6 - Crisálida do Bicho-da-Seda

permanecer em repouso.

#### 4.3.1.4. A Mariposa

Cerca de quinze dias após o encasulamento, vem a última fase da vida do bicho-da-seda, a mariposa (Figura 2.7).

Para sair do casulo, a mariposa expelle um líquido alcalino que o amolece, facilitando o seu rompimento. As mariposas não voam, pois são pesadas e possuem asas atrofiadas. Uma fêmea deposita cerca de 500 ovos e vive em média quinze dias. O macho vive menos, cerca de oito dias.

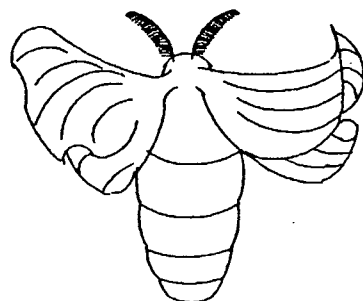


Figura 2.7 - Mariposa

#### 2.4. Prevenção contra Doenças

Para prevenir contra doenças causadas por fungos, bactérias e vírus, é preciso que se faça a desinfecção do barracão antes da entrada das larvas no mesmo. O produto utilizado é o formol. Este produto é encontrado nas próprias empresas que trabalham com o bicho-da-seda. Geralmente, é encontrada no comércio uma solução contendo 37% de formol. Para aplicação no barracão deve-se utilizar uma solução contendo 3% de formol. Exemplo: Para se obter 100 litros de solução com 3% de formol é preciso que se misturem 91,9 litros de água com 8,1 litros de solução a 37%. O cálculo é bastante simples. Digamos que se queira obter uma quantia L de solução com 3% de formol. Então, é evidente que será necessário 3% da quantia L de formol, isto é,  $0,03L$ . Por exemplo se forem necessários 200 litros de solução a 3% serão necessários  $0,03 \times 200 = 6$  litros de formol. Daí surge a seguinte questão: Quantos litros de solução a 37% serão necessários para se obter 6 litros de formol? A resposta é simples e pode ser obtida através de uma regra de três diretamente proporcional, usando-se o seguinte raciocínio: se 100 litros de solução a 37% possuem 37 litros de formol, quantos litros dessa solução serão necessários para se obter 6 litros?

Isso pode ser representado esquematicamente como segue:

Solução a 37% em litros	Formol puro em litros
100 -----	37
X -----	6

Daí se tira que:

$$X = \frac{6 \times 100}{37}$$

De onde resulta que  $X = 16,22$  litros.

A quantia de água A necessária será  $A = L - X$ . Para o exemplo acima,  $A = 200 - 16,22 = 183,78$  litros.

De um modo geral, se forem necessários L litros de solução a 3%, a quantia de solução a 37% necessária será:

$$X = \frac{0,03L \times 100}{37} = 0,081L.$$

Conseqüentemente, a quantidade de água A necessária será:

$$A = L - X = L - 0,081L = 0,919L.$$

A quantidade de solução a ser aplicada é de aproximadamente 3 litros por metro de barracão. Deve-se desinfetar todo o espaço interno: piso, paredes, teto e também todos os utensílios que são utilizados dentro do barracão, como bosques baldes, regadores, etc. Todos esses locais, principalmente o chão, devem ser bem molhados para eliminar focos de doenças. Caso os bosques sejam de papelão, a desinfecção do mesmo deve ser feita apenas pelo gás que o formol libera. Para isso, amontoam-se os bosques, cobrindo-os com um plástico, e depositando-se recipientes contendo solução de formol embaixo do plástico. Os bosques devem ser submetidos a esse processo por pelo menos um dia. A desinfecção do barracão deve ser feita nas horas mais quentes do dia, mantendo-se as portas e janelas fechadas por pelo menos 24 horas. O formol é um produto que exala um cheiro fortíssimo e, por esse motivo, o barracão deve ser desinfetado pelo menos três dias antes da entrada das larvas. Como já mencionado, gastam-se 3 litros de solução a 3% por metro de barracão. Isso significa que se gasta 0,24 litro de solução a 37% por metro quadrado. O custo da solução a 40% é de US\$ 0.55 o litro (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

## 2.5. Prevenção contra Formigas

É muito comum o ataque de formigas no barracão. As formigas causam sérios danos matando as larvas do bicho-da-seda. Esses danos são maiores quando as larvas ainda estão pequenas. Para prevenir contra a entrada de formigas no barracão é preciso lançar formicida à sua volta. O modo de preparar a solução é fornecido pelo fabricante. O custo da formicida é de US\$ 11.10 o litro (Fonte: Fiação de Seda Bratac). O consumo é bastante reduzido, sendo que um litro é suficiente para o ano inteiro num barracão de 420 m<sup>2</sup>. Caso o barracão seja menor, terá que ser computado também um litro na despesa, pois o produto não é vendido no varejo. Como a média é de nove colheitas anuais, o gasto de formicida será de 1/9 de litro por colheita.

## 2.6. Forragem das Camas com Cal Hidratada

As camas de criação são construídas diretamente no chão. Para evitar que a umidade da terra contribua para a fermentação dos restos que vão se juntando nas camas, usa-se cal hidratada, que tem a finalidade de ressecar o local. O consumo é de cerca de 100 g por metro quadrado de cama. O custo é de US\$ 0.55 o quilo (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

## 2.7. Desinfecção das Lagartas

Esta desinfecção é feita como forma de prevenir as lagartas contra determinadas doenças, principalmente por fungos. Os micróbios que causam doenças do bicho-da-seda penetram pela sua pele ou através da alimentação. São facilmente transportados pelo vento e se alojam em todas as partes do barracão, bem como sobre as lagartas. Por este motivo as lagartas devem ser desinfetadas periodicamente para que não contraíam doenças. Existem vários desinfetantes para este fim, mas o mais usado atualmente é o produto chamado BRA-F. Pode-se fazer uma aplicação logo após as lagartas acordarem, antes do primeiro trato (em todas as idades) e outra aplicação no meio de cada idade, de preferência pela manhã antes do segundo trato; portanto, duas aplicações por idade. Por exemplo, quando as larvas acordam para a quarta idade faz-se uma aplicação. Como as lagartas vão dormir

novamente no quinto dia, pode-se fazer outra aplicação no início do terceiro dia. O BRA-F é um pó fino, que deve ser misturado com 50% de cal hidratada, e, para aplicá-lo, ele é colocado dentro de um pequeno saco de tecido bem poroso, sacudindo-o sobre as lagartas. O consumo de BRA-F é mínimo, cerca de 20 g por metro quadrado de cama em cada criação. O custo é de US\$ 0.55 o quilo (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

## 2.8. Aplicação de Cal Hidratada nas Camas

Como já foi dito na seção 2.13, a cal, lançada nas camas antes da entrada das larvas, tem o objetivo de evitar que a umidade passe da terra para os restos que vão se acumular nas camas. Na verdade, a cal tem outras duas utilidades além dessas. No decorrer da criação é comum tratar as lagartas com folhas molhadas. Às vezes isso é devido ao fato de que as folhas colhidas pela manhã são molhadas por orvalho, outras vezes é porque elas foram colhidas em dia chuvoso, ou pode ser devido ao borrifamento de água nas folhas dentro do depósito de armazenamento, em dias quentes, para evitar o murchamento. Estas folhas molhadas, juntamente com a umidade do ar, fazem com que os restos das camas, principalmente os dejetos das lagartas, adquiram um alto grau de umidade, que irá provocar a fermentação dos mesmos, ocasionando liberação de gases nocivos às lagartas. Por este motivo, deve-se lançar cal periodicamente sobre as camas, para que os restos acumulados fiquem sempre bem secos. Esta aplicação pode ser feita apenas na quinta idade e deve ser feita em dias intercalados. Por exemplo, se as lagartas acordam no dia 1, podem-se fazer aplicações nos dias 2, 4, e 6, uma vez que a quinta idade tem oito dias de duração, em condições normais.

A outra utilidade da cal é a equalização das lagartas. Por uma razão ou por outra, as larvas nunca dormem todas ao mesmo tempo. Isso significa que também não vão acordar todas juntas. Alguns minutos após acordarem, as lagartas já começam a comer, caso encontrem folhas. Ocorre que as folhas que sobram do último trato, antes de as lagartas dormirem, podem não ter secado totalmente no momento em que elas acordam. Daí, as lagartas que

acordam primeiro começam a comer tais folhas e ficam adiantadas em relação às demais. Isso gera sérios problemas, pois estas lagartas vão chegar ao ponto de fazer casulo antes das demais (veja mais detalhes em 2.20 - Emboscamento). Para evitar esse problema, deve-se lançar cal hidratada nas camas (sobre as lagartas), depois que todas estiverem dormindo. A cal tem o objetivo secar as folhas remanescentes, para evitar que as primeiras lagartas ao acordarem comecem a comer. O primeiro trato, após o despertar, deve ser feito apenas quando todas as lagartas estiverem acordadas. O consumo de cal é de aproximadamente 0,5 kg por metro de cama sendo o seu custo de US\$ 0.55 o quilo (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

## 2.9. Pedido de Lagartas

Todo sericicultor é vinculado a uma empresa do setor de sericicultura. O sericicultor compra as larvas e a mesma empresa se compromete a comprar o casulo produzido. Para receber as larvas, o sericicultor deve fazer um pedido com antecedência. Atualmente as indústrias instaladas no Estado do Paraná estão exigindo que o pedido seja feito com 30 dias de antecedência. Esta prática serve para evitar que sejam geradas larvas em excesso ou que sejam produzidas em quantidade insuficiente. Ao fazer o pedido, o sericicultor precisa ter uma estimativa da quantidade de amora que vai estar disponível. Para saber quantos gramas deve-se pedir parte-se do princípio de que devem ficar reservados pelo menos 120 quilos de folhas (com ramos) por grama de larvas. A quantidade de folhas é estimada com base na quantidade de pés de amora que estarão prontos para corte no período da criação e na produtividade média por pé. Outro fator limitante da quantidade de larvas a ser pedida é o espaço do barracão. Deve-se levar em conta que na última idade a quantidade de lagartas por metro quadrado de cama não pode ser superior a 1200. A quantia de larvas entregue aos sericicultores é medida em gramas de ovos que as gerou e tem um custo de US\$ 0,47 o grama (Fonte: Fiação de Seda Bratac).

## 2.10. O Bicho-da-Seda na Terceira Idade

O sericicultor já recebe as larvas da distribuidora do bicho-da-seda na sua segunda dormida. Ao acordar as larvas estarão portanto, na terceira idade.

### 2.10.1. Espaçamento

No primeiro dia da terceira idade as larvas ainda são pequenas e não exigem muito espaço. Pode-se colocar até 7400 larvas, cerca de 3,7 g, por metro quadrado. Para facilitar a distribuição nos dias posteriores, as larvas devem ser colocadas ao longo das camas numa faixa estreita (figura 2.8) satisfazendo a quantidade máxima permitida. É aconselhável que se faça a disposição na lateral da cama para facilitar o tratamento e a limpeza que deve ser feita na quinta idade, como será visto nesta seção. Por exemplo pode-se distribuir as 7400 larvas numa faixa de 2 m de comprimento por 0,5 m de largura. É evidente que ninguém consegue contar as larvas para fazer a distribuição. Esta distribuição é feita com base na quantidade existente em cada caixa. Esta quantia pode variar de uma distribuidora para outra conforme sua necessidade. Algumas trabalham com 10 g por caixa (20000 larvas), outras trabalham com 15 g por caixa (30000 larvas).

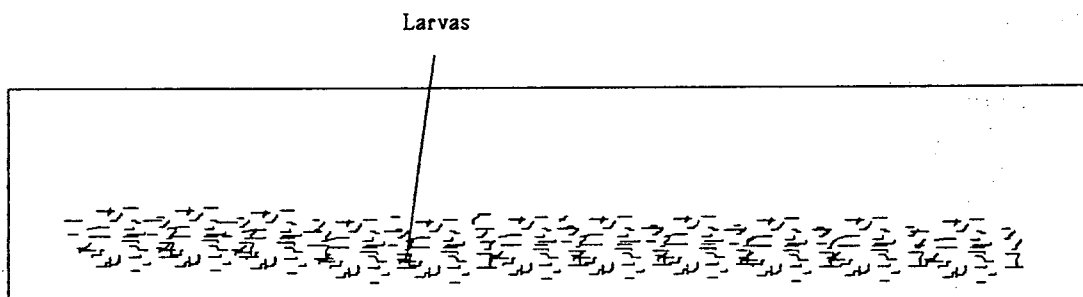


Figura 2.8 - Cama de Criação com Larvas na Terceira Idade.

A medida em que as larvas vão crescendo, é preciso que o espaçamento seja aumentado. Na terceira idade, as larvas irão dormir novamente no terceiro dia após terem acordado na parte da tarde. É preciso que se faça ampliação do espaço no segundo e no



terceiro dia. O horário mais adequado para se fazer isso é por volta das 13:00 horas.

O Quadro 2.5 fornece o número máximo de lagartas por metro em cada ampliação.

**Quadro 2.5. Quantidade Máxima de Larvas por Metro Quadrado em Cada Dia da Terceira Idade.**

Dia	Nº de Lagartas por m <sup>2</sup>	Quantidade em Gramas
1º	7400	3,70
2º	5500	2,75
3º	4450	2,25

Fonte: [17] - Hanada, p. 129

#### 2.10.2. Consumo de Folhas

O consumo de folhas também varia a cada dia. Nos três dias da terceira idade, o consumo médio de folhas/hora por grama é dado no Quadro 2.6.

**Quadro 2.6. Consumo de Folhas/Hora em Gramas por Grama de Larvas na Terceira Idade.**

Dia	Consumo Diurno	Consumo Noturno
1º	12	10
2º	40	35
3º	60	*

Fonte: [17] - Hanada, p. 131

\* No terceiro dia à noite as lagartas já estão dormindo.

No terceiro dia, quando as larvas vão dormir, por volta das 15:00 horas, o consumo de folhas tem uma redução e as larvas começam a ficar com o corpo translúcente. Em seguida, começam a soltar fio sobre as folhas fornecidas para fixação das patas na hora do repouso. Neste momento deve-se ficar atento para que não falem folhas nas camas. A partir desse momento deve-se fazer reposição de folhas apenas nas partes onde estas vão sendo consumidas. O objetivo é fazer com que todas durmam uniformemente, para evitar atrasos. Um fato deve ser tomado como regra: as larvas devem dormir sobre folhas e não sobre ramos. Caso as lagartas não tenham comido a quantidade necessária de folhas, poderão não dormir ou poderão acabar dormindo

posteriormente, mas com falta de alimento. Isso irá provocar atrasos e queda na produção. Quando as lagartas dormem sobre as folhas fica garantido que não faltou alimento e que as lagartas dormiram regularmente. Após todas as lagartas terem dormido deve-se fazer aplicação de cal hidratada (veja seção 2.15) e manter o barracão fechado.

### 2.10.3. Número de Tratos Diários

Uma vez que as folhas expostas nas camas murcham com o passar do tempo, o número de tratos deve ser controlado para evitar esse problema. O tempo máximo que as folhas podem ficar expostas nas camas, sem que percam a qualidade em virtude de murchamento, pode ser estimado pela fórmula  $TE = 2100/t^2$ , onde  $t$  é a temperatura no interior da sirgaria.

O horário de se fazer o primeiro trato da manhã não é rígido, mas é bom que se faça no máximo até às 07:00 horas. O último trato da noite também é flexível, basta que seja dada uma quantidade de folhas que dure até o primeiro trato do dia seguinte. Caso se adote fazer o primeiro trato do dia às 06:00 horas e o último às 20:00 horas, haverá um período de 14 horas por dia para se fazer todos os tratos. O número de tratos,  $NT$ , durante o dia (sem incluir o trato noturno) será portanto:

$$NT = \frac{14}{TE},$$

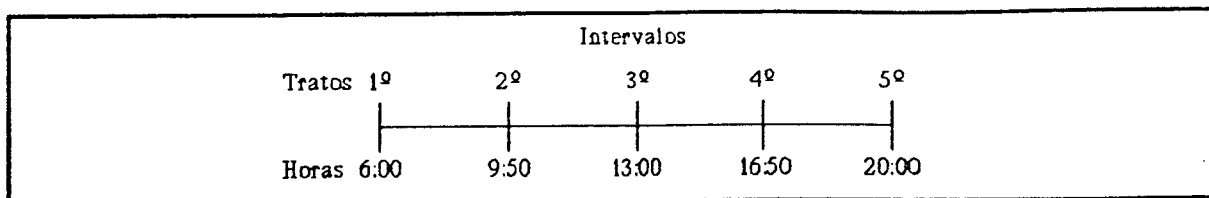
onde  $TE$  é o tempo máximo de exposição.

O último trato da noite deverá ser suficiente, portanto, para 10 horas de alimentação (das 20:00 às 06:00 horas). Durante a noite praticamente não há o problema de murchamento das folhas, devido à queda de temperatura.

Por exemplo se o tempo máximo de exposição  $TE$  for de 3,5 horas, então o número de tratos durante o dia (incluindo o trato noturno) será

$$NT = \frac{14}{3,5} + 1 = 5,$$

como ilustra o esquema a seguir.



É evidente que a fórmula dada acima nem sempre produz valores inteiros, por isso, deve-se fazer arredondamento para o inteiro mais próximo.

Pode-se adotar outro intervalo de trabalho, como por exemplo fazer o primeiro trato às 07:00 horas e o último às 20:00 horas. No entanto o período anterior é mais recomendado. Não se pode esquecer que a colheita de folhas deve ser feita de manhã e à tarde quando o sol não é tão intenso. Portanto, quanto mais cedo terminar o primeiro trato do dia mais cedo se pode iniciar a colheita de folhas, já que ambas as tarefas são desempenhadas pelas mesmas pessoas.

#### 2.10.4. Quantidade de Folhas Expostas em cada Trato

A quantidade de folhas que deve ser fornecida em cada trato vai depender do consumo de folhas por hora, do tempo máximo que as folhas poderão ficar expostas e da quantidade de lagartas. Assim, se o consumo/hora diurno por grama no dia  $i$  (veja seção 2.17.2) for denominado  $CD_i$ , a quantidade mínima de folhas fornecida  $QF$  será dada por  $QF = CD_i \times TE \times QTL$ , onde  $TE$  é o tempo máximo de exposição e  $QTL$  é a quantidade total de lagartas em gramas.

De acordo com o período de trabalho descrito acima, o trato da noite sempre terá a quantidade  $QF = CN_i \times 10 \times QTL$ , onde  $CN$  é o consumo noturno por hora na noite  $i$ .

#### 2.11. Bicho-da-Seda na Quarta Idade

Da terceira para a quarta idade as larvas dormem cerca de 24 horas. Portanto, as primeiras larvas a dormirem vão acordar na parte da tarde do dia seguinte. Como nem todas dormem ao mesmo tempo, também não vão acordar juntas. É preciso esperar que pelo 95% acordem antes de dar o primeiro trato. Este primeiro trato pode ser feito somente às 20:00 horas. Não se deve deixar de

fazer a desinfecção das lagartas uns 15 minutos antes do primeiro trato. A desinfecção deve ser repetida no terceiro dia.

Na quarta idade pode-se fornecer amoreira com 50 a 60 dias de vegetação.

#### 2.11.1. Espaçamento

Tendo sido feito o primeiro trato às 20:00 horas, as lagartas irão dormir novamente no quinto dia à tarde após esta data. À medida em que as lagartas vão crescendo, é preciso que se amplie o espaçamento. Para a quarta idade pode-se ampliar o espaçamento no segundo e no quarto dia. O horário ideal para se fazer esse trabalho é às 13:00 horas. O Quadro 2.7 fornece o número máximo de lagartas em cada dia da quarta idade.

Quadro 2.7. Quantidade Máxima de Lagartas em Cada Dia da Quarta Idade.

Dia	Nº de Lagartas por m <sup>2</sup>	Quantidade em gramas
1º	4450	2,25
2º	2500	1,25
3º	2500	1,25
4º	2200	1,15
5º	2200	1,15

Fonte: [17] - Hanada p. 136-140

#### 2.11.2. Consumo de Folhas

O consumo de folhas/h por grama varia a cada dia. O Quadro 2.8 fornece o consumo médio/hora por grama na quarta idade.

No quinto dia pela manhã as lagartas mantêm o mesmo ritmo do dia anterior. O consumo começa a cair após as 13:00 horas quando as mesmas já começam a se preparar para dormir. Após ter sido observado que as primeiras lagartas estão soltando fios sobre as folhas, deve-se cuidar para que em nenhum momento falte folha. É importante fazer com que todas durmam, se não ao mesmo tempo, pelo menos em tempos bem próximos. Os tratos a partir desse momento não devem mais ser feitos como antes. Apenas devem-se cobrir de folhas as partes onde o alimento vai sendo consumido. Depois que as primeiras lagartas começam a dormir, o consumo de folhas cai drasticamente, sendo que o total de folhas

gasto a partir daí chega no máximo à quantidade gasta no último trato feito antes dessa observação. Portanto, após as 13:00 horas do quinto dia pode-se considerar o consumo total como sendo igual ao do último trato feito.

**Quadro 2.8. Consumo de Folhas/Hora em gramas, por Grama de Larvas na Quarta Idade.**

Dia	Consumo Diurno	Consumo Noturno
1º	*	60
2º	130	120
3º	200	170
4º	300	260
5º	300	**

Fonte: [17] - Hanada p. 136-140

\* No primeiro dia, o primeiro trato é feito somente à noite.

\*\* Na noite do quinto dia as larvas já estão dormindo.

### 2.11.3. Número de Tratos Diários

O número de vezes que se deve tratar segue as mesmas normas estabelecidas para a terceira idade (veja 2.17.3).

### 2.11.4. Quantidade de Folhas Expostas a Cada Trato

A quantidade de folhas a ser fornecida a cada trato na quarta idade depende do consumo/hora por grama, do tempo em que as folhas podem ficar expostas e da quantidade de lagartas, a exemplo da terceira idade. As equações matemáticas também são idênticas.

### 2.12. Bicho-da-Seda na Quinta Idade

Na terceira e na quarta idade, o manejo das lagartas não exige muito trabalho devido ao baixo consumo de folhas. Todavia, a quinta idade é uma fase crítica. Nesta idade o consumo de folhas é elevado, exigindo bastante mão-de-obra. Uma pessoa adulta consegue cuidar, em média, de 30 g de larvas.

O repouso da quarta para a quinta idade é um pouco mais longo, sendo que as lagartas só vão acordar por completo no terceiro dia após terem dormido. Geralmente no segundo dia à tarde já tem muitas lagartas acordadas —aquelas que dormem

primeiro. Todavia deve-se esperar que todas acordem e isso só vai se verificar na manhã do terceiro dia. O primeiro trato pode ser feito às 06:00 horas. Para lagartas na quinta idade a amora ideal deverá estar com 80 a 100 dias de vegetação.

#### 2.12.1. Limpeza do Barracão

Para evitar que os restos da terceira e da quarta idade venham a entrar em estado de decomposição, ocorrendo fermentação e conseqüentemente liberação de gases tóxicos nos dias seguintes, é necessário que estes restos sejam retirados do barracão.

Após a limpeza, deve-se uma ampliação no espaçamento de cama, para modo que se tenha no máximo 1400 lagartas por metro quadrado.

#### 2.12.2. Espaçamento

Da mesma forma que na terceira e na quarta idade, deve-se

Quadro 2.9. Quantidade Máxima de Lagartas em Cada Dia da Quinta Idade.

Dia	Nº de Lagartas por m <sup>2</sup>	Quantidade em gramas
1º	1400	0,70
2º	1400	0,70
3º	1300	0,65
4º	1300	0,65
5º	1200	0,60
6º	1200	0,60
7º	1200	0,60
8º	1200	0,60

Fonte: [17] - Hanada p.140-150

cuidar para que as lagartas não fiquem amontoadas, a fim de que se alimentem direito. Na quinta idade, as ampliações podem ser feitas no primeiro, no terceiro e no quinto dia, conforme o Quadro 2.9.

#### 2.12.3. Consumo de Folhas

Nesta idade o consumo é intenso e aumenta progressivamente até o início do sétimo dia, quando se aproxima o tempo de amadurecimento. No sétimo dia à tarde já começam aparecer algumas lagartas maduras, mas o emboscamento se dá apenas no oitavo dia.

O consumo de folhas/hora encontra-se no Quadro 2.10.

No oitavo dia deve-se fazer o primeiro trato normalmente mas, a partir daí, devem ser feitas apenas reposições nas partes onde as folhas do último trato vão sendo consumidas. A meta é fazer com que todas as lagartas atinjam o amadurecimento em tempos próximos.

**Quadro 2.10. Consumo de Folhas/hora em Gramas por Grama de Larvas na Quinta Idade.**

Dia	Consumo Diurno	Consumo Noturno
1º	*	200
2º	300	250
3º	400	380
4º	700	500
5º	800	580
6º	940	700
7º	1000	600
8º	800	**

Fonte: [17] - Hanada p.140-150

\* No primeiro dia, o primeiro trato é feito somente à noite.

\*\* Na noite do oitavo dia as larvas já estão em fase de encasulamento.

#### 2.12.4. Número de Tratos Diários

Segue o mesmo raciocínio feito para a terceira e para a quarta idade. Após o primeiro trato do oitavo dia, o consumo total com reposições é aproximadamente igual à quantia gasta neste primeiro trato.

#### 2.12.5. Quantidade de Folhas Expostas em cada Trato

Assim como nas demais idades, essa quantia depende do consumo por hora, do tempo máximo de exposição e da quantidade total de lagartas. A fórmula para a quantidade mínima exposta também é idêntica, variando apenas o consumo por hora, conforme exposto na seção 2.19.3. Vale lembrar que as lagartas deverão ser desinfetadas na metade da quinta idade. Todavia, esta aplicação pode ser feita no quinto dia, para não coincidir com a aplicação da cal hidratada. As aplicações de cal hidratada devem ser feitas no segundo, no quarto e no sexto dia. Para recordar, o objetivo

resíduos.

### 2.13. Emboscamento

Quando a lagarta atinge o ponto de confeccionar o casulo, seu corpo fica amarelado e diminui de tamanho, pois o alimento ingerido vai sendo eliminado. É neste ponto que se diz estarem maduras. Quando chegam no estado de amadurecimento, as lagartas começam a soltar um fio e procuram um lugar para construir seus casulos. Caso não encontrem, dentro de quinze a vinte minutos mais ou menos, começam a confeccioná-los nos ramos de amoreira sobre as camas ou nas folhas expostas. Os casulos feitos na cama de criação em geral ficam manchados, pois à medida que as larvas que estão por cima vão amadurecendo, eliminam excrementos e um líquido amarelo situado no interior de seu organismo. Como os casulos muito manchados não têm grande valor comercial, este fato tem que ser evitado. As primeiras larvas que vão ficando maduras devem ser catadas manualmente e postas em bosques separados, caso comecem a confeccionar os casulos nas camas. Deve-se sempre manter folhas sobre as mesmas para que haja igualdade no tempo de emboscamento. Quando se perceber que mais da metade das lagartas já estão maduras faz-se uma cobertura geral de folhas, para que as larvas mais atrasadas também cheguem ao ponto, e baixam-se os bosques sobre as mesmas.

Regra geral, o emboscamento se inicia na parte da tarde e somente no dia seguinte, pela manhã, os bosques devem ser levantados, isto é, pendurados em sua posição original, por cima das camas.

Aqui, pode-se explicar melhor por que há tanta preocupação em não deixar que umas lagartas se atrasem com relação às outras. Imagine-se que 30% das larvas atinjam o estado de amadurecimento pela manhã e que os outros 70% só amadureçam à tarde. Caso se tenha 100 g de larvas, 30% representa 60000 lagartas. Como já foi mencionado, as primeiras larvas a atingirem o ponto de emboscamento devem ser catadas à mão e postas nos bosques. Ocorre que catar esse número de lagartas maduras manualmente é impraticável. Se ficarem nas camas vão produzir os casulos entre os ramos e, no momento em que as demais emboscarem, vão lançar



seus excrementos sobre os mesmos, estragando-os. Caso se baixem os bosques para que subam, estes terão que ser levantados, para que as mais atrasadas sejam tratadas até atingirem o amadurecimento. Daí, vai ocorrer que estas primeiras lagartas vão lançar seus excrementos sobre as demais. A quantidade de líquido por elas eliminado é grande e molha toda a folha bem como o corpo das lagartas que estão nas camas, prejudicando-as. De qualquer forma, o prejuízo é certo. Por isto, deve-se fazer o máximo para que as lagartas estejam em pé de igualdade na hora do emboscamento.

#### 2.14. Colheita

Após terminado o casulo, o bicho-da-seda leva cerca de dois dias para se transformar em crisálida. No início, a crisálida possui o corpo mole e pode se romper com qualquer pequeno choque. Portanto, deve-se esperar que atinja um estado adequado para colheita, quando seu corpo apresenta-se mais resistente. Isso leva cerca de quatro dias após a crisalidação.

#### 2.15. Seleção dos Casulos

Depois de colhidos, os casulos devem passar por uma fase de classificação. Os casulos podem ser classificados em casulos de primeira, segunda, duplos e refugos.

- Os casulos de primeira são aqueles que não possuem manchas grandes, sem defeitos, de tamanho satisfatório e com crisálida viva.
- Os de segunda são casulos com manchas grandes, pequenos, com defeito, com crisálida morta ou amassados.
- Quando duas ou mais larvas constroem o mesmo casulo, este fica maior e irregular. São os chamados casulos duplos.
- Por fim os refugos são casulos furados por animais como rato, que os fura para comer a crisálida e casulos que possuem a casca fina, com crisálida morta.

Os sericicultores que possuem bosques de papelão produzem, em média, 92% de casulos de primeira, devendo-se descontar desta quantia o que for produzido de casulos de terceira. Isto porque

a quantidade de casulos de terceira é, em média, de 2% do total de larvas por metro quadrado de cama no último dia da quinta idade. Ocorre que os casulos duplos são construídos por lagartas sadias, e, caso possam ser evitados, constituem casulos de primeira. A produção média de casulos de segunda é de 6%. Por outro lado, os sericicultores que utilizam bosques de plástico chegam a produzir 70% de casulos de primeira, 20% de casulos de segunda e 8% de duplos (Dados fornecidos pela Fiação de Seda Bratac). O modelo matemático a ser formulado admitirá o uso de bosques de papelão, mas nada impede que isso seja alterado de acordo com o produtor.

No momento da venda, é levado em conta o que se chama teor de seda do casulo. O preço pago pelo produto tem pequenas variações, conforme o teor de seda seja maior ou menor. Para se obter bom teor, deve-se adotar todas as práticas já descritas. A amoreira fornecida para as lagartas é um fator de grande importância. Amoreira bem adubada e na idade certa é fundamental.

Para calcular o teor de seda, a indústria retira uma amostra aleatória de 0,5 kg de casulos de primeira do lote a ser comprado. Em seguida separam-se 30 casulos desta amostra, pesando-os. Este peso é chamado peso bruto (PB). Feito isso, retira-se a crisálida do interior dos casulos e pesam-se as cascas dos mesmos. Este peso é chamado peso líquido (PL). Dividindo-se PL por PB obtém-se o que se chama teor de seda bruto (TSB). Costuma-se multiplicar o TSB por 100 para obter o resultado em termos percentuais.

Assim,

$$TSB = \frac{PL}{PB} \times 100.$$

Ocorre que uma boa parte da composição do casulo é de resíduos que devem ser descontados. De acordo com a BRATAC, este desconto está fixado em 24%. O teor de seda líquido (TSL) é obtido então descontando-se 24% do TSB, o que equivale a multiplicá-lo por 0,76.

Assim,

$$TSL = 0,76 \times TSB.$$

Obs.: Caso sejam encontrados casulos de segunda ou duplos na amostra retirada poderá haver mais descontos. O Quadro 2.11 fornece a porcentagem a ser descontada da seda líquida caso sejam encontrados casulos de outros tipos entre os de primeira.

Recomenda-se pois o máximo cuidado na hora da classificação dos casulos.

A questão do teor de seda não será levada em consideração no problema por não haver dados para relacioná-lo com os demais. Será suposto apenas o preço atual do casulo em quilo, para um teor, chamado teor padrão, que é de 15%.

Quadro 2.11. Porcentagem de Outros Tipos de Casulos entre os Casulos de Primeira e o Desconto Correspondente do TSL

	Porcentual												
Outros	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desconto	0	1	2	3	4	5	7	8	10	11	12	13	15

Fonte: [17] - Hanada p. 166

## CAPÍTULO III

### O MODELO MATEMÁTICO

#### 3.1. Objetivo

A finalidade do modelo é indicar a forma correta de empregar os fatores utilizados na criação, objetivando maximizar o lucro. Numa visão mais ampla, o modelo servirá para decidir se é possível aumentar a produção nacional de casulos e quanto se pode aumentar.

Os quadros a seguir contêm dados básicos para a formulação do modelo.

Quadro 3.1. Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 3ª Idade

Terceira Idade					
Dia	Consumo diurno/g por grama	Consumo noturno/g por grama	Número de lagartas por m <sup>2</sup>	Número de tratos diurnos	Número de tratos noturnos
1º	12	10	7400	3	1
2º	40	35	5500	NT	1
3º	60	-	4450	3	-

Quadro 3.2. Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 4ª Idade

Quarta Idade					
Dia	Consumo diurno/g por grama	Consumo noturno/g por grama	Número de lagartas por m <sup>2</sup>	Número de tratos diurnos	Número de tratos noturnos
1º	-	60	4450	-	1
2º	130	120	2500	NT	1
3º	200	170	2500	NT	1
4º	300	260	2200	NT	1
5º	300	-	2200	3	-

**Quadro 3.3. Medidas Referentes ao Consumo de Folhas, Número de Tratos e Quantidade de Larvas por Metro Quadrado na 5ª Idade**

Quarta Idade					
Dia	Consumo diurno/g por grama	Consumo noturno/g por grama	Número de lagartas por m <sup>2</sup>	Número de tratos diurnos	Número de tratos noturnos
1º	-	200	1400	-	1
2º	300	250	1400	NT	1
3º	400	380	1300	NT	1
4º	700	500	1300	NT	1
5º	800	580	1200	NT	1
6º	940	700	1200	NT	1
7º	1000	600	1200	NT	1
8º	800	-	1200	3	-

Obs.: A quantidade NT representa o número de tratos que devem ser feitos em cada dia.

**Quadro 3.4. Custos e Consumos de Insumos Utilizados na Criação**

	Consumo (m <sup>2</sup> )	Custo(US\$)
Cal Hidratada (Kg)	0,60	0.07
BRA-F (Kg)	0,02	0.55
Formol (l)	0,24	0.55
Formicida Criação (l)	0,10	11.10
Adubo Orgânico (Planta)	-	0.0056
Adubo Químico (Planta)	-	0.003
Calcário (Planta)	-	0.003
Larva (g)	-	0.47

Fonte: Fiação de Seda Bratac

### 3.2. Descrição do Problema

Com base no que foi exposto pode-se sumarizar o problema como segue.

Na criação do bicho-da-seda, o tempo máximo, TE, em que as folhas podem ficar expostas nas camas pode ser estimado através da fórmula  $TE = 2100/t^2$ , onde t é a temperatura em °C no interior do barracão.

Adotando-se fazer o primeiro trato do dia às 06:00 horas e o último às 20:00 horas, então o número de tratos diários, NT, será dado pelo valor arredondado de  $14 \cdot t^2 / 2100$ . O número máximo de larvas por metro quadrado na última fase é de 1200 (0,6 g) e a quantidade de larvas a ser criada deverá ser tal que a área de

cama disponível possa comportá-la. Deve-se também levar em conta que as larvas são compradas em caixas, que contêm 10 gramas por unidade, o que quer dizer que a quantidade de larvas a ser criada deve variar de 10 em 10 gramas. Cada grama de larvas consome, em média, 120 quilos de folhas (com ramos) durante a criação. Isto quer dizer que, a quantidade de larvas a ser criada, deve ser tal que as folhas disponíveis sejam suficientes para alimentá-las durante toda a criação. O número máximo de larvas por metro quadrado varia no decorrer da criação e estas variações estão dadas nos Quadros 3.1, 3.2 e 3.3. A quantidade de folhas expostas em cada trato varia de um dia para o outro, à medida que as larvas vão crescendo. Veja o consumo (em gramas) por grama de larva em cada hora nos Quadros 3.1, 3.2 e 3.3. O custo de mão-de-obra no abastecimento de folhas é estimado em US\$ 0.01 por metro quadrado de cama ocupada em cada abastecimento. No decorrer da criação, à medida em que as larvas vão crescendo, é preciso que se amplie o espaço por elas ocupado. Este espaço está relacionado com o número máximo de lagartas permitido por metro quadrado. Os dias nos quais as ampliações devem ser feitas podem ser verificados nos Quadros 3.1, 3.2 e 3.3.

Os amoreirais sem nenhuma espécie de adubação produzem uma média de 1 kg de folhas por planta. Amoreirais tratados com adubação química produzem uma média de 1,5 kg por planta e aqueles tratados com adubação orgânica, 3 kg por planta. O custo de adubação depende no número de plantas utilizadas na criação e também do tipo de adubação empregada. O custo do calcário gasto em cada criação depende apenas do número de plantas gastas. Estes custos estão dados nos Quadros 3.4 e 3.5.

Na desinfecção do barracão, gasta-se 0,24 litros de formol por metro quadrado, o qual tem um custo de US\$ 0.55 por litro. Pode-se computar um consumo de 0,02 kg de Bra-F e 0,6 kg de cal hidratada por metro quadrado de cama ocupada no último dia da quinta idade, que equivale à média do consumo durante a criação. Os custos são de US\$ 0.55 para o quilograma de Bra-F e US\$ 0.47 para o quilograma de cal hidratada. Em cada criação gasta-se cerca de 0,1 l de formicida, que custa US\$ 11.10 o litro. Há ainda diversos outros gastos, chamados gastos gerais,

a serem considerados, como combustível, energia elétrica, etc, que dependem de cada criador. Para propósito deste trabalho, serão fixados em US\$ 1,00 por m<sup>2</sup>. As larvas criadas pelo sericicultor são compradas das indústrias e custam US\$ 0.47 o grama. A produção de casulos para quem utiliza bosques de papelão, em média, atinge 92% de casulos de primeira (de onde se deve descontar os casulos de terceira), 6% de casulos de segunda, 2% do total de larvas por metro quadrado no último dia da quinta idade de casulos duplos, ou de terceira, e o restante de refugos (casulos sem valor). Os preços de vendas são US\$ 1.56, US\$ 0.47 e US\$ 0.26 o quilo, para casulos de primeira, de segunda e terceira ou duplos, respectivamente. O peso médio de cada casulo é de 1,9 g, 1,75 g e 1,6 g para larvas criadas com amoreira tratada com adubação orgânica, adubação química e sem adubação, respectivamente.

### 3.3. Ciclos de Criação

A criação do bicho-da-seda tem uma duração média de trinta dias. Assim, as despesas e o lucro resultantes da criação são de caráter mensal.

As medidas a serem adotadas na atividade devem ser revistas em cada criação, pois a quantidade de plantas disponíveis para colheita pode variar de um mês para outro, gerando mudança na solução do problema. Isto quer dizer que o programa deverá ser executado antes de cada início de criação com a devida alteração deste dado. Quanto aos custos, é necessário que se faça uma revisão a cada seis meses, já que nos últimos anos tem havido uma defasagem de até 5% do dólar com relação à moeda nacional.

Obs.: Muito embora um grama de larvas contenha em média 2000 ovos, as empresas costumam colocar uma quantia bem maior nas caixas que, a princípio, são vendidas com sendo de 10 gramas por unidade. Na verdade, as caixas que deveriam conter 20000 larvas, contêm em torno de 33000 ovos, 65% a mais. Por este motivo, nos resultados fornecidos no próximo capítulo, está sendo considerado que o grama contém 3300 ovos.

### 3.4. Formulação do Modelo

Analisando-se o que foi exposto pode-se formular problema de programação matemática abaixo (veja em seguida uma exposição mais detalhada).

Maximizar  $Z = c1*X1 + c2*X2 + c3*X3 - DT$

Sujeito às restrições:

$$01: te = 2100/t^2$$

$$02: nt = 14*t^2/2100$$

$$03: QTL \leq \min(0.364*ac, ad/198)$$

$$04: QL_{(3,i)} \leq m_{(3,i)}, i=1, 2, 3$$

$$05: TD_{(3,i)} \geq cd_{(3,i)}*te*QTL, i=1, 2, 3$$

$$06: TN_{(3,i)} \geq cn_{(3,i)}*10*QTL, i=1, 2, 3$$

$$07: ACO_{(3,i)}*QL_{(3,i)} \geq nlg*QTL, i=1, 2, 3$$

$$08: MO_{(3,i)} = ACO_{(3,i)}*nt, i=1, 2, 3$$

$$09: GF_3 = \sum_{i=1}^2 TN_i + 3TD_{(3,1)} + nt \sum_{i=1}^2 TD_{(3,i)} + 3TD_{(3,3)}$$

$$10: QL_{(4,i)} \leq m_{(4,i)}, i=1, 2, 3, 4, 5$$

$$11: TD_{(4,i)} \geq cd_{(4,i)}*te*QTL, i=1, 2, 3, 4, 5$$

$$12: TN_{(4,i)} \geq cn_{(4,i)}*10*QTL, i=1, 2, 3, 4, 5$$

$$13: ACO_{(4,i)}*QL_{(4,i)} \geq nlg*QTL, i=1, 2, 3, 4, 5$$

$$14: MO_{(4,i)} = ACO_{(4,i)}*nt, i=1, 2, 3, 4, 5$$

$$15: GF_4 = \sum_{i=1}^4 TN_{(4,i)} + NT \sum_{i=1}^4 TD_{(4,i)} + 3TD_{(4,5)}$$

$$16: QL_{(5,i)} \leq m_{(5,i)}, i=1, 2, \dots, 8$$

$$17: TD_{(5,i)} \geq cd_{(5,i)}*te*QTL, i=1, 2, \dots, 8$$

$$18: TN_{(5,i)} \geq cn_{(5,i)}*10*QTL, i=1, 2, \dots, 8$$

$$19: ACO_{(5,i)}*QL_{(5,i)} \geq nlg*QTL, i=1, 2, \dots, 8$$

$$20: MO_{(5,i)} = ACO_{(5,i)}*nt, i=1, 2, \dots, 8$$

$$21: GF_5 = \sum_{i=1}^7 TN_{(5,i)} + nt \sum_{i=1}^7 TD_{(5,i)} + 3TD_{(5,8)}$$

$$22: GTF = \sum_{i=1}^3 GF_i$$

$$23: CTA = cao*(GTF/ppo)*y_1 + caq*(GTF/ppq)*y_2$$

$$24: CTCA = cca*(GTF/ppo)*y_1 + cca*(GTF/ppq)*y_2$$



$$25: MOT = \sum_{i=1}^3 MO_{(3,i)} + \sum_{i=1}^5 MO_{(4,i)} + \sum_{i=1}^8 MO_{(5,i)}$$

$$26: ctf = as*cf*pf$$

$$27: CTBF = pbf*cbf*ACO_{(5,8)}$$

$$28: CTC = pc*cc*ACO_{(5,8)}$$

$$29: ctfd = cfo*pfo$$

$$30: DT = CTA + CTCA + CTC + CTBF + cl*QTL + cmo*MOT + ctf + ctfd + gg$$

$$31: pesoc = 1.9*y_1 + 1.75*y_2 + 1.6*y_3$$

$$32: X1 = 0.92*pesoc*nlg*QTL/1000 - X3$$

$$33: X2 = 0.06*pesoc*nlg*QTL/1000$$

$$34: X3 = 0.02*QL_{(5,8)}*ACO_{(5,8)}*pesoc/1000$$

Onde

ac = Área de cama, em m<sup>2</sup>, disponível para criação de lagartas.

ACO<sub>ki</sub> = Área de cama, em m<sup>2</sup>, ocupada no dia i da idade k.

ad = Número de plantas disponíveis para a criação.

as = Área total da sirgaria em metros quadrados.

c<sub>i</sub> = Preço do casulo do tipo i em dólares.

cao = Custo da adubação orgânica por planta em dólares.

caq = Custo da adubação química por planta em dólares.

cbf = Consumo do fungicida, em kg, por m<sup>2</sup> de cama ocupada.

cc = Consumo de cal hidratada, em kg, por m<sup>2</sup> de cama ocupada.

cca = Custo do calcário, em dólares, por planta em cada criação.

CD<sub>ki</sub> = Consumo de folhas, em kg, por grama de larva no dia i da idade k.

cf = Consumo de formol (em litros) por metro quadrado de barracão.

cfo = Consumo do formicida por criação em litros.

cmo = Custo por unidade de mão-de-obra.

CN<sub>ki</sub> = Consumo de folhas, em kg, por grama de larva, no dia i da idade k.

CTA = Custo total de adubação em dólares.

CTBF = Custo total do fungicida por criação em dólares.

ctfd = Custo total do formicida em dólares.

CTC = Custo total da cal hidratada por criação em dólares.

CTCA	=	Custo total do calcário na criação em dólares.
ctf	=	Custo total do formol em cada criação em dólares.
DT	=	Despesa total durante a criação em dólares.
GF <sub>i</sub>	=	Quantidade total de folhas, em kg, gastas na idade i.
gg	=	Gastos gerais durante a criação em dólares.
GTF	=	Gasto total de folhas, em kg, durante a criação.
M <sub>ki</sub>	=	Número máximo de lagartas permitido por metro quadrado, no dia i da idade k.
MO <sub>ki</sub>	=	Mão-de-obra necessária para a criação no dia i da idade k.
MOT	=	Mão-de-obra total usada na criação.
nt	=	Número de tratos diários.
nlg	=	Número de lagartas por grama.
pc	=	Preço da cal, em dólares, por quilograma.
pbf	=	Preço do fungicida, em dólares, por quilograma.
pesoc	=	Peso dos casulos produzidos em kg.
pf	=	Preço do formol, em dólares, por litro.
pfo	=	Preço do formicida, em dólares, por litro.
pl	=	Custo, em dólares, por grama de larvas criadas.
ppo	=	Produção de folhas, em kg, por planta tratada com adubação orgânica.
ppq	=	Produção de folhas, em kg, por planta tratada com adubação química.
QL <sub>ki</sub>	=	Quantidade de lagartas por metro quadrado no dia i da idade k.
QTL	=	Quantidade total de lagartas a ser criada (em gramas).
t	=	Temperatura, em °C, no interior da sirgaria.
TD <sub>ki</sub>	=	Quantidade de folhas, em kg, a ser exposta no trato diurno do dia i da idade
te	=	Tempo, em horas, que as folhas podem ficar expostas nas camas.
TN <sub>ki</sub>	=	Quantidade de folhas, em kg, a ser exposta no trato noturno do dia i da idade k.
X <sub>i</sub>	=	Produção total de casulos do tipo i, em kg.
y <sub>i</sub>	=	Variável binária.
Z	=	Lucro obtido na criação (função objetivo).

(Exposição detalhada de cada restrição)

$$\text{Maximizar } Z = c1 \cdot X1 + c2 \cdot X2 + c3 \cdot X3 - DT$$

Z: Representa o lucro, em dólares, na criação.

X1: Quantidade de casulos de primeira produzida, em quilogramas.

X2: Quantidade de casulos de segunda, em quilogramas.

X3: Quantidade de casulos de terceira ou duplos, em quilogramas.

c1: Preço de venda do casulo de primeira em dólares.

c2: Preço de venda do casulo de segunda em dólares.

c3: Preço de venda do casulo de terceira em dólares.

DT: Representa o total de despesas durante a criação (Mais detalhes com respeito a esta variável serão dados posteriormente).

01: te: Representa o tempo máximo, em horas, que as folhas podem ficar expostas nas camas de criação.

t: Temperatura em °C no ambiente de criação.

02: nt: Esta variável representa o número de tratos que deve ser realizado em cada dia (sem contar o trato noturno, último do dia). A equação construída tem por base o fato de se dedicar 14 horas diárias para se fazer os abastecimentos de folhas. Como o tempo máximo em que as folhas podem ficar expostas é *te*, então o número de tratos diários será  $14/te$ , que resulta na equação dada.

03: QTL: Quantidade de larvas a ser criada em gramas.

ac: Área de cama de criação existente na sirgaria.

ad: Quantidade de folhas, em quilogramas, disponível para a criação.

Esta restrição diz respeito à quantidade total de larvas a ser criada (em gramas). Na fase adulta, um metro quadrado de cama comporta no máximo 1200 larvas, que equivalem a 0.364 gramas. Assim, a expressão  $0.364 \cdot ac$ , dará o máximo de larvas que a sirgaria pode comportar. Por outro lado, deve-se reservar pelo menos 198 quilogramas de folhas por grama de

larva a ser criada, de onde se tira que a folha disponível,  $ad$ , alimentará no máximo  $ad/198$ . Portanto, a quantidade de larvas a ser criada,  $QTL$ , será restrita pela expressão que gerar o menor limite,  $0.364*ac$  ou  $ad/198$ .

- 04:  $QL_{(3,i)}$ : Quantidade (número) de lagartas distribuída por metro quadrado de cama no dia  $i$  da terceira idade.  
 $m_{(3,i)}$ : Número máximo de lagartas permitido por metro quadrado de cama no dia  $i$  da terceira idade.

As quantidades máximas de larvas permitidas por metro quadrado,  $m_{(3,i)}$ , variam de um dia para outro, conforme as larvas vão crescendo. Estas quantidades estão apresentadas no Quadro 3.1. As variáveis  $QL_{(3,i)}$  irão armazenar, na resolução do problema, os valores reais da distribuição em cada dia.

- 05:  $TD3i$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento diurno do dia  $i$  da terceira idade.  
 $cd_{(3,i)}$ : Consumo diurno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da terceira idade.

Caso as folhas expostas devam ser suficientes para  $te$  horas, então o produto de  $te$  pelo consumo/hora,  $te*cd_{(3,i)}$ , dará o total de folhas por grama. Daí fica evidente que o produto desta quantia por  $QTL$  resultará na quantidade total de folhas a ser exposta. Os diversos valores de  $cd_{(3,i)}$  estão no Quadro 3.1

- 06:  $TN_{(3,i)}$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento noturno do dia  $i$  da terceira idade.  
 $cn_{(3,i)}$ : Consumo noturno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da terceira idade.

Aqui valem as mesmas observações feitas para o item anterior, diferindo apenas no fato de o tempo de exposição,  $te$ , ser fixo em 10 horas, das 20:00 às 06:00 horas, já que à noite o problema de murchamento das folhas praticamente não existe. Os valores de  $cn_{(3,i)}$  estão dados no Quadro 3.1.

07:  $ACO_{3i}$ : Área de cama ocupada, em metros quadrados, no dia  $i$  da terceira idade.

$nlg$ : Número de larvas por grama.

Conforme varia a distribuição de larvas nas camas, a área de cama ocupada aumenta gradativamente. Como o número de larvas por metro quadrado em cada dia é  $m_{(3,i)}$ , então do quociente do número total de larvas,  $nlg*QTL$ , por  $m_{(3,i)}$  dará a área de cama mínima em cada dia.

08:  $MO_{(3,i)}$ : Mão-de-obra dispensada no tratamento das larvas no dia  $i$  da terceira idade.

Está sendo considerada como unidade de mão-de-obra o trabalho dispensado para abastecer um metro quadrado de cama, incluindo a colheita de folhas. Assim, a quantidade de mão-de-obra em cada dia será dada pelo produto entre a área de cama ocupada pela quantidade de tratos.

09:  $GF_3$ : Gasto de folhas, em quilogramas, ocorrido na terceira idade.

10:  $QL_{4i}$ : Quantidade de lagartas distribuída por metro quadrado de cama no dia  $i$  da Quarta idade.

$m_{(4,i)}$ : Número máximo de lagartas permitido por metro quadrado de cama no dia  $i$  da quarta idade.

As quantidades máximas de larvas permitidas por metro quadrado,  $m_{(4,i)}$ , variam de um dia para outro, da mesma forma que na terceira idade. Estas quantidades estão apresentadas no Quadro 3.2 As variáveis  $QL_{(4,i)}$  irão armazenar, na resolução do problema, os valores reais da distribuição em cada dia desta idade.

11:  $TD_{(4,i)}$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento diurno do dia  $i$  da quarta idade.

$cd_{(4,i)}$ : Consumo diurno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da quarta idade.

A expressão  $cd_{(4,i)}*te*QTL$  indica a quantidade mínima de folhas a ser exposta em cada abastecimento da quarta

idade, de forma análoga ao exposto para a terceira idade. Veja diversos valores de  $cd_{(4,i)}$  no Quadro 3.2

- 12:  $TN_{(4,i)}$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento noturno do dia  $i$  da quarta idade.

$cn_{(4,i)}$ : Consumo noturno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da quarta idade.

Aqui valem as mesmas observações feitas para o item anterior, com a diferença de se ter  $t$  fixo em 10 horas, das 20:00 às 06:00 horas. Os valores de  $cn_{(4,i)}$  estão dados no Quadro 3.2

- 13:  $ACO_{4i}$ : Área de cama ocupada em, metros quadrados, no dia  $i$  da quarta idade.

Da mesma forma que na terceira idade, conforme varia a distribuição de larvas nas camas, a área de cama ocupada aumenta gradativamente. Como o número de larvas por metro quadrado em cada dia é  $m_{(4,i)}$ , então do quociente do número total de larvas,  $nlg*QTL$ , por  $m_{(4,i)}$  dará a área de cama mínima em cada dia.

- 14:  $MO_{(4,i)}$ : Mão-de-obra dispensada no tratamento das larvas no dia  $i$  da quarta idade.

De forma semelhante à terceira idade, o produto entre área de cama ocupada em cada dia pelo número de tratos, dará a quantidade da mão-de-obra gasta.

- 15:  $GF_4$ : Gasto de folhas, em quilogramas, ocorrido na quarta idade.

- 16:  $QL_{5i}$ : Quantidade de lagartas distribuída por metro quadrado de cama no dia  $i$  da quinta idade.

$m_{(5,i)}$ : Número máximo de lagartas permitido por metro quadrado de cama no dia  $i$  da quinta idade.

Raciocínio idêntico ao das idades anteriores. Os valores  $m_{(5,i)}$  estão dados no Quadro 3.3.

17:  $TD_{(5,i)}$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento diurno do dia  $i$  da quinta idade.

$cd_{(5,i)}$ : Consumo diurno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da quarta idade.

Segue raciocínio análogo à terceira e à quarta idade.

Veja os valores de  $cd_{(5,i)}$  no Quadro 3.3.

18:  $TN_{(4,i)}$ : Quantidade de folhas expostas (em quilogramas) em cada abastecimento noturno do dia  $i$  da quarta idade.

$cn_{(5,i)}$ : Consumo noturno de folhas/hora (em quilogramas) por grama de larvas no dia  $i$  da quinta idade.

Segue o mesmo raciocínio das idades anteriores. Os valores de  $cn_{(5,i)}$  estão dados no Quadro 3.3

19:  $ACO_{5i}$ : Área de cama ocupada em, metros quadrados, no dia  $i$  da quinta idade.

Veja idades anteriores.

20:  $MO_{(5,i)}$ : Mão-de-obra dispensada no tratamento das larvas no dia  $i$  da quinta idade.

Veja idades anteriores.

21:  $GF_5$ : Gasto de folhas, em quilogramas, ocorrido na quinta idade.

22:  $GTF$ : Gasto total de folhas ocorrido durante a criação.

23:  $CTA$ : Custo total com adubação em cada criação.

$cao$ : Custo da adubação orgânica por planta.

$caq$ : Custo da adubação química por planta.

$ppo$ : Produção de folhas por planta com tratamento orgânico.

$ppq$ : Produção de folhas por planta com tratamento químico.

$y_1, y_2$ : Parâmetros binários.

O parâmetro  $y_1$  valerá 1 se for utilizada adubação orgânica e 0 (zero) em caso negativo. O parâmetro  $y_2$  exerce a mesma função para o caso de adubação química. Vale ressaltar que os tratamentos não podem ser feitos

simultaneamente.

Fazendo-se adubação orgânica, o gasto total de folhas, GTF, dividido por *ppo* (produção por planta com tratamento orgânico) dará o total de plantas gastas na criação. O custo total com adubação, CTA, será portanto o produto deste número pelo custo da adubação por planta, *ppo*. O mesmo raciocínio vale para o tratameto químico.

24: CTCA: Custo total do calcário na criação.

cca: Custo do calcário por planta.

Nesta restrição, o raciocínio é semelhante ao da restrição anterior: o custo total com calcário será o produto entre custo por planta, *cca*, e o número de plantas gastas na criação.

25: MOT: Mão-de-obra total durante a criação.

Trata-se do total de mão-de-obra dispensada na terceira, quarta e quinta idades.

26: ctf: Custo total do formol gasto na criação.

cf: Consumo de formol em litros.

as: Área total da sirgaria em metros quadrados.

pf: Preço do formol em litros.

Uma vez que o consumo de formol por metro quadrado é fixo (veja quadro 3.4), então o produto deste consumo, *cf*, pela área da sirgaria, *as*, dará o total de litros gastos. Este número por sua vez multiplicado pelo preço do formol resultará no custo total durante a criação.

27: CTBF: Custo total do Bra-f durante a criação.

cbf: Consumo médio de Bra-f, em quilogramas, por metro quadrado de cama.

pbf: Preço do Bra-f em quilogramas.

O consumo de Bra-f é proporcional à área de cama ocupada no sétimo dia da quinta idade. A média de consumo por metro quadrado, *cbf*, é calculada com base nesta fase. Assim,



o total do insumo gasto durante a criação será  $cbf \cdot ACO_{\{5,7\}}$ , obviamente, o custo final vai ser pelo produto entre esse consumo e o preço por quilograma.

28: CTC: Custo da cal durante a criação.

cc: Consumo de cal por metro quadrado de cama.

pc: Preço da cal em quilogramas.

O consumo da cal,  $cc$ , e o custo final são obtidos de forma análoga aos do Bra-f

29: ctfcd: Custo total do formicida.

cfo: Consumo do formicida em litro.

pfo: Preço do formicida em litro.

30: DT: Despesa total durante a criação.

pl: Custo, por grama, das larvas criadas.

cmo: Custo por unidade de mão-de-obra.

gg: Gastos gerais.

A variável DT apenas contabiliza todos os gastos realizados na criação com adubos, calcário, compra de larvas, etc.

31: pesoc: Peso médio de cada casulo em gramas.

O peso médio do casulo varia conforme o tipo de tratamento do amoreiral, sendo de 1.9 g, 1.75 g e 1.6 g para tratamento orgânico, químico e sem nenhum tratamento, respectivamente. Os parâmetros  $y_1$  e  $y_2$  são como já descritos anteriormente. O parâmetro  $y_3$  valerá 1 se o amoreiral não receber qualquer tipo de adubação e 0 (zero) em caso contrário.

32: X1: Produção de casulos de primeira em quilogramas.

X3: Produção de casulos de terceira em quilogramas.

A quantidade de larvas criadas, em gramas, multiplicada pelo número de larvas por grama,  $nlg \cdot QTL$ , dará o número de larvas criadas. Logo o produto deste número pelo

peso de cada casulo, *pesoc*, resultará na produção total em gramas. O valor 0.92 vem do fato de se ter, em média, 92% da produção de casulos de primeira e a divisão por 1000 serve para converter de gramas para quilogramas (veja análise para X3 abaixo).

33: X2: Produção de casulos de segunda em quilogramas.

Vale a mesma explicação para o primeiro caso, exceto que a produção média de casulos de segunda é de 6% da produção total.

34: X3: Produção de casulos de terceira ou duplos em quilogramas.

A quantidade de casulos de terceira depende da quantidade de larvas por metro quadrado de cama no último dia da quinta idade, QL58, sendo, em média, 2% deste valor. A produção destes casulos gera uma queda direta na produção de casulos de primeira, uma vez que são construídos por lagartas sadias. Por este motivo, X3 deve ser descontada de X1.

Obs.: Todas as variáveis relacionadas acima, a exceção de Z, são não negativas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Resolução

A resolução do problema acima foi realizada utilizando-se o pacote de software GAMS (General Algebraic Modeling System) e, numa primeira etapa, foram feitas simulações para um suposto criador de bicho-da-seda com as seguintes características: Área de cama disponível: 350 m<sup>2</sup>; número de plantas disponível para corte: 16000; temperatura média no interior do barracão: 24°C; gastos gerais na criação: US\$ 1.00 por m<sup>2</sup>. Na simulação foram considerados três casos distintos:

a) O problema foi resolvido considerando-se que o amoreiral é do tipo tratado, sendo utilizada adubação orgânica.

b) Foi considerado que o amoreiral é do tipo tratado e que se utiliza adubação química. Em ambos os casos acima foi suposto ter sido feita calagem do solo.

c) O problema foi resolvido supondo que nenhum adubo foi aplicado, nem sequer calcário.

A implementação do problema em GAMS e uma análise de sensibilidade com respeito aos parâmetros do modelo encontram-se no Apêndice A. No quadro 4.1 encontram-se alguns resultados obtidos da simulação realizada para os supostos produtores citados acima.

Posteriormente foram tomados, para estudo, três criadores A, B e C de bicho-da-seda do município de Nova Esperança, no Estado do Paraná, os quais fizeram criações sem levar em conta os cuidados estabelecidos neste trabalho. Nos três casos o amoreiral não recebeu qualquer tipo de adubação. Foram tomados ainda outros três sericicultores D, E e F, já bastante experientes, também do Município de Nova Esperança, cujos cuidados se aproximaram daqueles descritos neste trabalho. O amoreiral utilizado recebeu adubação orgânica. Nos seis casos, a criação foi realizada no primeiro semestre de 1993. O Quadro 4.2 contém algumas

informações colhidas.

**Quadro 4.1. Alguns Resultados Obtidos da Simulação do Problema**

	Com Adubação Orgânica	Com Adubação Química	Sem Adubação
Lagartas Criadas [g]	120	110	80
Despesas [US\$]	272.64	270.08	166.37
Renda Bruta [US\$]	983.97	823.24	541.80
Renda Líquida [US\$]	711.33	553.16	375.43

**Quadro 4.2. Dados dos Criadores A, B, C, D, E e F**

Criador	A	B	C	D	E	F
Larvas criadas [g]	100	80	70	70	150	160
Produção de Casulos [kg]	444	291	270	401	750	730
Renda Líquida [US\$]	566	355	315	444	904	876
Amoreiral [alqueire] <sup>*</sup>	4	3	3,5	2	3,5	3
Dimensões do barracão [mxm]	50x8	35x8	48x8	48x8	62x9	62x9

Fonte: FIAÇÃO DE SEDA BRATAC

<sup>\*</sup> O número médio de plantas por alqueire (24200 m<sup>2</sup>) é de 30000.

Simulando-se estes criadores, através do modelo, considerando-se os mesmos recursos em que trabalharam, obtiveram-se os resultados dados no Quadro 4.3.

A seguir é feita uma análise do que foi exposto até aqui, com relação aos criadores citados e às simulações realizadas.

**Quadro 4.3. Resultados Obtidos da Simulação Considerando-se as Mesmas Condições de Trabalho**

Criador	A	B	C	D	E	F
Larvas Criadas [g]	100	70	70	70	140	140
Produção de Casulos [kg]	517	362	362	430	861	861
Renda Líquida [US\$]	592	400	386	445	963	963

Obs.: Nos Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 não foram consideradas despesas com mão-de-obra.

#### 4.2. Análise dos Resultados

No caso da simulação, pode-se ver no Quadro 4.1 que o amoreiral sem tratamento (sem adubação), embora apresente a menor despesa dentre os três casos, foi a situação em que se obteve o pior resultado. O caso em que se supôs adubação química apresentou uma melhoria considerável com relação ao primeiro caso, com um aumento de 47% na renda líquida, apesar de ter havido uma despesa superior à do primeiro caso em 62%, devida aos gastos com adubação. Finalmente, o terceiro caso foi o que apresentou o melhor resultado, fornecendo uma renda líquida superior à do primeiro caso em 89% e superior à do segundo em 29%. Observa-se ainda que as despesas neste último caso foram superiores às do primeiro em 63%, mas não superaram muito as do segundo caso. A explicação está no fato de se ter, neste último caso, uma maior produtividade de folhas, o que diminui o número de plantas utilizadas na criação. Assim, embora a adubação orgânica tenha um custo maior por planta, a produtividade que proporciona acaba compensando os gastos. O fato de se obter maior renda líquida utilizando-se adubação se deve a dois fatores: aumento de produção de folhas por planta (o que acarreta a criação de um maior número de lagartas) e aumento do peso do casulo produzido, devido à melhor qualidade das folhas.

Na comparação entre os criadores, observa-se nos Quadros 4.2 e 4.3 que os criadores B, E e F criaram quantidades excessivas de lagartas. Como a área de cama era insuficiente para a criação de tais quantidades, ocorreu que as larvas não foram bem alimentadas. Este fato, somado ao problema de superpopulação, levou muitas lagartas a uma deficiência orgânica, o que possibilitou o aparecimento de doenças, matando as mesmas. Os demais cuidados empregados pelos criadores E e F, bem como pelo criador D, na criação do bicho-da-seda e no cultivo da amoreira, são considerados satisfatórios pelos técnicos da Fiação de Seda Bratac. Veja que a renda líquida na simulação (Quadro 4.3) não teve aumento significativo, o que constata que a diferença ocorrida foi devida a perda de lagartas.

Os demais criadores não obtiveram bons resultados, em primeiro lugar porque o amoreiral é fraco, produzindo folhas de

baixa qualidade e, em segundo lugar, por não terem tomado os devidos cuidados no tratamento das larvas e na manutenção das sirgarias. De acordo com os técnico da Fiação de Seda Bratac, estes criadores perderam muitas larvas, as quais morreram com doenças oriundas de focos de doenças devidos a má desinfecção do barracão. Este fato, além da perda das lagartas, gera também um aumento na quantidade de casulos de segunda, pois as larvas mortas costumam manchar casulos bons, o que os desqualifica. Note, no Quadro 4.4 da simulação, que a renda líquida é superior nos três casos reais, apesar de a quantidade de larvas criadas pelo criador B ter diminuído em 10 gramas. Na verdade estes resultados são frutos da tentativa de economizar insumos, como desinfetante, para ter menos despesas.

O Quadro 4.4 apresenta os resultados obtidos por simulação, supondo-se que todos estes criadores tivessem um amoreiral devidamente tratado com adubo orgânico.

**Quadro 4.4. Resultados Obtidos da Simulação Supondo-se o Amoreiral Devidamente Tratado**

Criador	A	B	C	D	E	F
Larvas Criadas (g)	100	70	90	70	140	140
Produção de Casulos (kg)	614	429	551	430	861	861
Renda Líquida (US\$)	672	456	597	445	963	963

Como se pode perceber, os resultados são bem melhores com relação aos três primeiros criadores. Quanto aos três últimos não houve aumento, uma vez que o amoreiral permaneceu inalterado (já era tratado).

A seguir é dado um resumo das principais atividades desenvolvidas na criação do bicho-da-seda.

#### 4.3. Resumo das Atividades Desenvolvidas no Tratamento do Bicho-da-Seda

Na criação do bicho-da-seda há uma seqüência de tarefas que devem ser realizadas. Estas tarefas estão relacionadas a seguir, em sua ordem natural.

##### - Terceira Idade

**1º Dia:**

- " No momento de receber as larvas, a sirgaria deverá estar devidamente desinfetada, limpa e as camas forradas com cal hidratada.
- " As larvas são recebidas da indústria, ainda em estado de repouso, em camas apropriadas, forradas com certo tipo de papel.
- Às 15:00 horas, quando quase todas as larvas já devem estar acordadas, fazer desinfecção com fungicida e, depois de uns 15 minutos, iniciar o primeiro trato, ainda sobre o papel (fornecer amoreira com cerca de 30 dias de vegetação).
- Após cerca de uma hora, retirar os ramos, juntamente com as larvas, e distribuir nas camas, de modo que a quantidade de larvas por metro quadrado não ultrapasse 7200.
- Fazer novo trato, já nas camas do barracão, para que as larvas se distribuam melhor.
- Fazer novo trato sobre o papel e nova distribuição nas camas até que não sobrem mais larvas ou que a quantidade remanescente possa ser catada manualmente.
- Fazer último trato às 20:00 horas.

**2º Dia:**

- Fazer tratos nos horários e nas quantidades indicadas pelo modelo.
- Ampliar o espaço de cama para que se tenha no máximo 5500 larvas por metro quadrado, no horário apropriado (por volta das 13:00 horas).

**3º Dia:**

- Após o primeiro trato da manhã, ampliar o espaço de cama para que se tenha no máximo 4450 larvas por metro quadrado e, em seguida, aplicar fungicida.
- Continuar fazendo tratos normais até se observarem as primeiras larvas dormindo. Após isso, deve-se apenas fazer reposições de folhas nas partes onde as mesmas vão sendo consumidas, até que todas as larvas entrem em repouso.
- Lançar cal hidratada sobre as camas (em cima das lagartas), para que as sobras de folhas sequem.

#### - Quarta Idade (Dia Seguinte)

##### 1º Dia:

- Fazer o primeiro trato apenas às 20:00 horas, quando quase todas as larvas já estiverem acordadas (fornecer amoreira com 50 a 60 dias de vegetação).
- Não esquecer de fazer aplicação de fungicida 15 minutos antes de fazer esse trato.

##### 2º Dia:

- Fazer tratos nos horários e nas quantidades indicadas pelo modelo.
- Ampliar o espaço de cama no horário adequado, de modo que se tenha no máximo 2500 larvas por metro quadrado.

##### 3º Dia:

- Fazer tratos nos horários e nas quantidades indicadas pelo modelo.
- Aplicar fungicida antes de se fazer o segundo trato da manhã.

##### 4º Dia:

- Fazer tratos nos horários e nas quantidades indicadas pelo modelo.
- Ampliar o espaço de cama de modo que se tenha no máximo 2200 larvas por metro quadrado.

##### 5º Dia:

- Fazer tratos normais até se observarem as primeiras larvas dormindo. após isto, deve-se apenas fazer reposições de folhas nas partes onde as mesmas vão sendo consumidas, até que todas as larvas durmam.
- Aplicar cal hidratada sobre as camas.

Obs.: As larvas vão acordar para a quinta idade na noite do dia seguinte.

#### - Quinta Idade

##### 1º Dia:

- Às 6:00 horas da manhã, deve ser feito o primeiro trato. Antes disto, colocar cordões sobre as camas para facilitar a limpeza, que deve ser feita nesse dia, além de fazer a desinfecção (fornecer amoreira com 80 a 100 dias de vegetação).
- Após o segundo trato, fazer a limpeza e ampliar o espaço de



cama, de modo que se tenha no máximo 1400 larvas por metro quadrado.

" Depois disso, segue-se fazendo tratos normais.

2º Dia:

" Aplicar de cal hidratada antes do segundo trato.

" Continuar fazendo tratos normais.

3º Dia:

" Ampliar o espaço de cama, por volta das 13:00 horas, para que se tenha no máximo 1300 larvas por metro quadrado.

" Fazer tratos normais.

4º Dia:

" Idêntico ao segundo.

5º Dia:

" Aplicar fungicida antes do segundo trato do dia.

" Ampliar o espaço de cama para que se tenha no máximo 1200 larvas por metro quadrado.

" Fazer os tratos normalmente.

6º Dia:

" Idêntico ao segundo.

7º Dia:

" Fazer tratos normais.

" Caso apareçam larvas maduras, catar manualmente e colocar em algum bosque.

8º Dia:

" Fazer o primeiro trato normalmente. a partir daí, fazer apenas reposições de folhas nas partes onde as mesmas vão sendo consumidas, para igualar as lagartas.

• Catar manualmente as larvas que iniciam os casulos nas camas, colocando-as em bosques.

• Ao se perceber que pelo menos 70% das larvas estão maduras, retirar aquelas que estão na beira das camas e cobrir o local com algo apropriado (pó de serra, palha de arroz, etc.).

• Fazer uma cobertura geral de folhas e baixar os bosques.

Obs.: Neste estágio termina a quinta e última idade.

9º Dia:

• Logo pela manhã, os bosques podem ser levantados e pendurados na posição original (por cima das camas). As lagartas

remanescentes devem ser catadas manualmente, postas em uma parte de cama onde não haja bosques pendurados e tratadas novamente. Pode-se de imediato colocar bosques vazios sobre elas para que subam ao atingirem o ponto de amadurecimento. Depois de terem subido aos bosques procede-se como anteriormente.

- Depois de uns três dias procede-se à limpeza do barracão. Primeiro catam-se os casulos construídos entre os ramos e, em seguida, retiram-se os restos.
- Após dois a três dias pode-se fazer a colheita.

A seguir são mostrados os fluxogramas representando as atividades expostas acima. A variável D que aparece nos mesmos está representando os dias da criação.

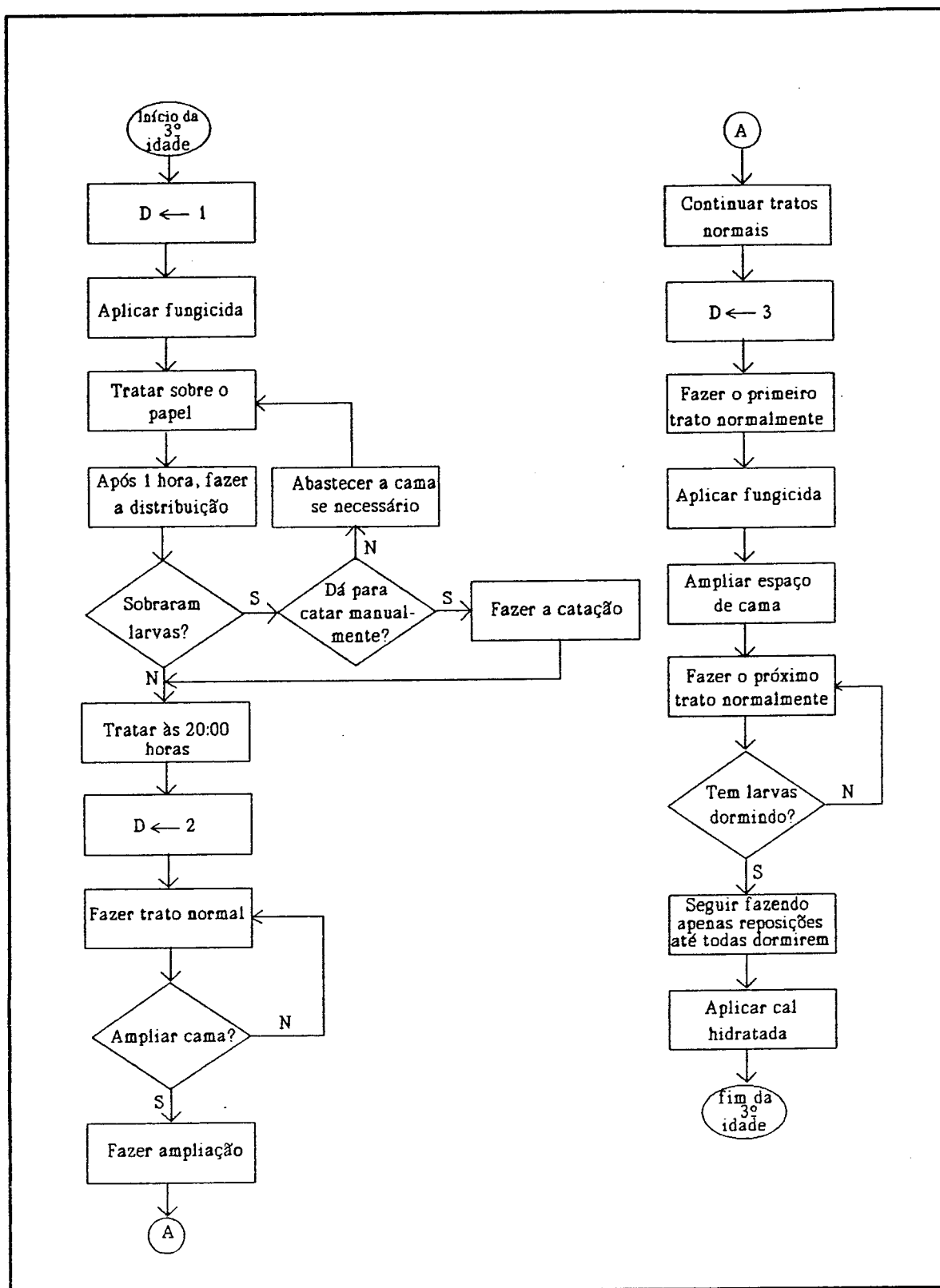


Figura 4.1. Fluxograma Relativo à Terceira Idade

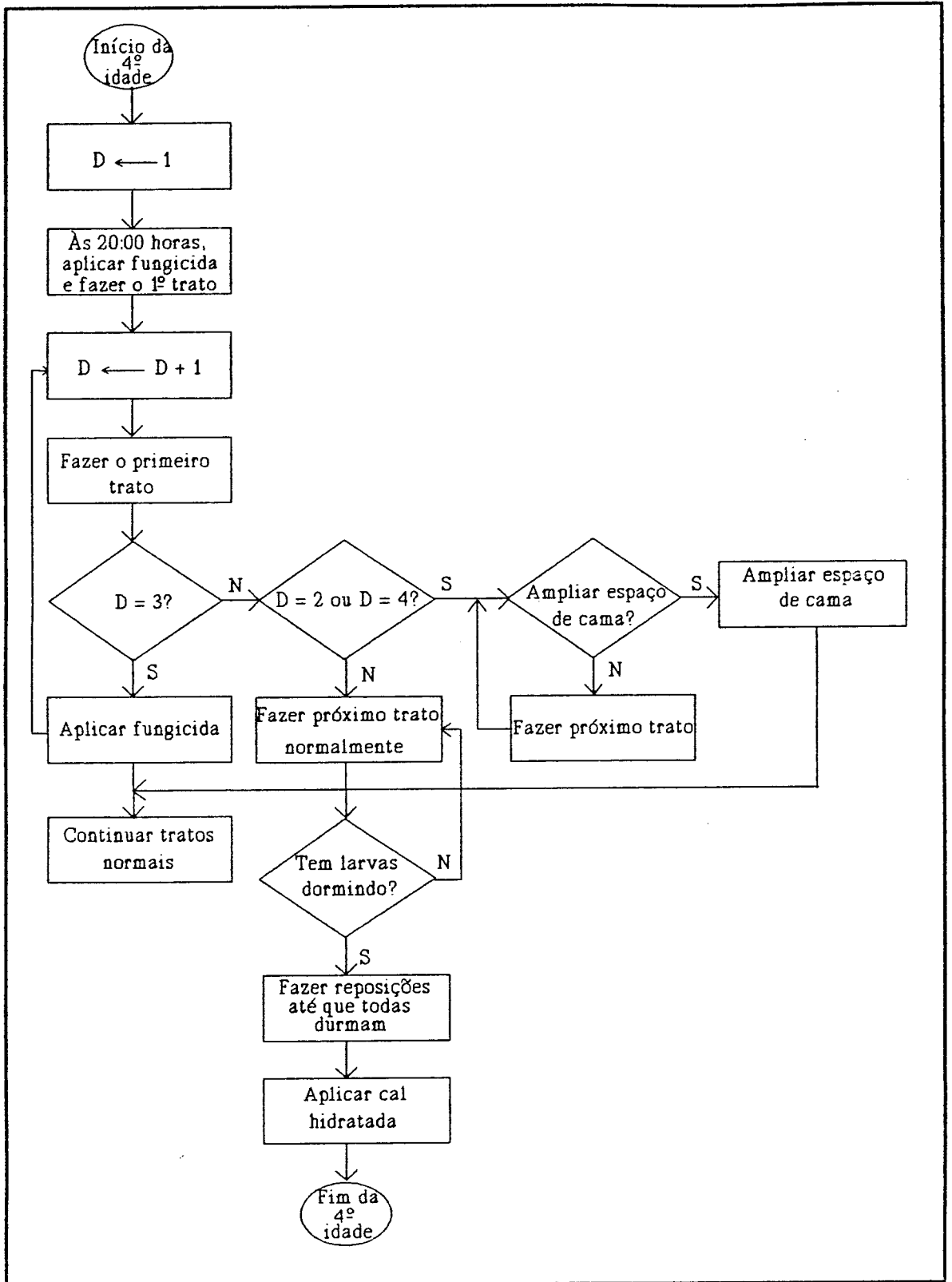


Figura 4.2. Fluxograma Relativo à Quarta Idade

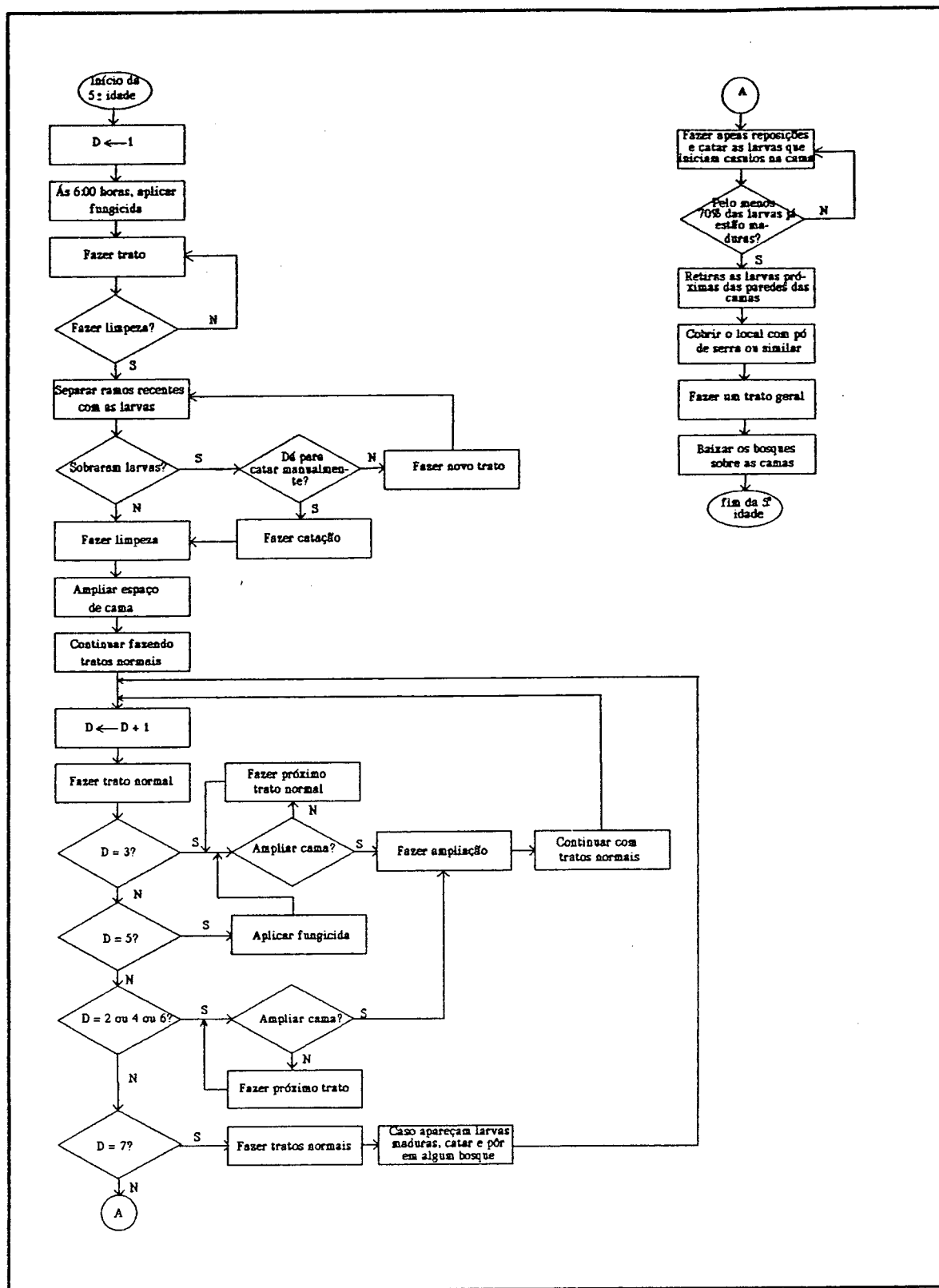


Figura 4.3. Fluxograma Relativo à Quinta Idade

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 5.1. Conclusões

De acordo com o que foi exposto, podem-se tirar as seguintes conclusões:

- Do experimento realizado na UNESP, ficou constatado que os adubos aumentam significativamente a produção de folhas nos amoreirais, embora não tenha sido esclarecido se os rendimentos observados na produção justificam os gastos realizados. Dos resultados obtidos através do modelo, vê-se que a resposta é afirmativa, isto é, os gastos realizados com adubações são compensadores.
- Com relação ao cultivo do amoreiral, ficou constatado que a lavoura deve receber tratamento com adubo orgânico, pois este, apesar de acarretar uma despesa maior, propicia uma renda líquida superior à da lavoura tratada com adubo químico.
- A desinfecção do barracão é uma tarefa que deve ser bem executada, pois os focos de doenças podem levar a uma epidemia, matando grande quantidade de lagartas. A doença, além de provocar a perda das lagartas que morrem, ainda pode gerar outro problema: a desqualificação de casulos bons, devida a manchas provocadas pelas lagartas que morrem na fase de emboscamento.
- A utilização dos resultados obtidos a partir do modelo matemático na sericicultura pode representar um aumento significativo na produção. Para os criadores citados anteriormente pode-se verificar que houve um aumento médio de 26% na produção quando foi feita a simulação. Na safra 1991/92 o Brasil produziu 17586 toneladas de casulos (veja Quadro 1.1). Considerando-se um incremento de 26% na produção, ter-se-ia um acréscimo de 4572 toneladas de casulos. Como o preço médio por quilo é de US\$ 1,56, isto representaria US\$ 7.132.320,00 a mais para os sericicultores. Além disso, se for levado em consideração que o teor médio de

seda líquida (quantidade de fio de seda por casulo) é de 16%, ter-se-ia um acréscimo de 731,52 toneladas de fios. Como o preço médio para exportação é de US\$ 26,00 o quilo, este aumento na produção proporcionaria uma renda de US\$ 19.019.520,00 a mais para o Brasil.

- Mediante o exposto acima, vê-se que as medidas fornecidas pelo modelo matemático para a criação do bicho-da-seda, como número de tratos diários, quantidade de folhas a ser exposta em cada trato, etc, contribuem para o aumento da produção, como se pôde constatar na comparação entre os resultados obtidos pelos sericicultores citados e os resultados obtidos através do programa na simulação.

## 5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

- O desenvolvimento do bicho-da-seda depende de vários fatores ambientais. Alguns dos fatores fundamentais são: idade da folha com a qual é alimentado, temperatura e umidade no ambiente de criação. Neste trabalho o peso do casulo foi tomado com base na média obtida entre os criadores de bicho-da-seda do Estado do Paraná, por falta de dados para relacioná-los com os fatores descritos acima. É de interesse pesquisar tal relação de modo que se possa descrevê-la matematicamente para, a partir daí, verificar qual a combinação entre tais fatores, isto é, a medida quantitativa de cada um, para que se consiga produzir casulos com peso ótimo.
- O teor de seda do casulo é um fator que contribui substancialmente para a boa qualidade do mesmo. Sabe-se que este fator é determinado basicamente pelo tipo de folha com a qual o bicho-da-seda é alimentado e pelas condições climáticas já descritas anteriormente. Todavia, na modelagem do problema, o teor de seda não foi levado em consideração por falta de dados que permitissem descrever matematicamente as diversas relações existentes. Interessa pois conhecer a relação matemática entre o teor de seda do casulo e as características da amoreira (como a idade e a proporção dos nutrientes constituintes das folhas) para que se consiga um

ponto ideal, de modo que o teor obtido seja ótimo. Vale lembrar que alguns elementos químicos constituintes das folhas, como Nitrogênio, Potássio e Fósforo, podem ser controlados através da adubação.



## APÊNDICE

### A.1. Utilidades do Bicho-da-seda e seus Subprodutos

**Anafaias** - Na colheita do casulo é feita uma limpeza dos mesmos com a finalidade de retirar uma porção de fios que as lagartas utilizam para fixar os casulos nos bosques. Estes fios ficam presos aos casulos como se fossem pêlos e são chamados de anafaias. As anafaias são utilizadas para a fabricação de estofamentos, acolchoados, cordas, barbantes, travesseiros e outros produtos.

**Casulos** - Os casulos podem ser destinados à reprodução ou à industrialização. Os casulos destinados à industrialização são desenrolados e os fios são utilizados para a fabricação de tecidos, capas de fios elétricos, cordas de instrumentos musicais, cabelos de bonecas, papel para computador, fitas para impressoras, engrenagens silenciosas para aparelhos sofisticados, lona de pneu, etc.

**Crisálida** - A crisálida tem em alto grau de teor nutritivo e pode ser utilizada para adubação de lavouras hortas e jardins; para fabricação de ração para aves, suínos, peixes, coelhos, bovinos; para fabricação de óleo para fabricar sabão, etc.

**Amoreira** - A amoreira, além de útil para alimentar o bicho-da-seda, pode ser usada para alimentação de caprinos, coelhos, bovinos e carneiros. Serve também para fazer chá para baixar a pressão.

**Ramos** - Dos ramos restantes da cama de criação pode-se obter ração para caprinos, ovinos e bovinos; cordas, barbantes, através da casca; adubo orgânico e cobertura morta para a amoreira.

**Dejetos** - Os dejetos deixados pelas lagartas podem ser utilizados para adubação de lavouras, hortas, jardins e pomares. São também utilizados para fabricação de ração para bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves.

## A.2. Listagem da Implementação do Problema em GAMS

### SETS

I /2/  
J /2\*4/  
K /2\*7/

### PARAMETERS

m3(I) Quantidade maxima de lagartas no dia i da terceira idade  
/2 5500/  
m4(J) Quantidade maxima de lagartas no dia i da quarta idade  
/2 2500, 3 2500, 4 2200/  
m5(K) Quantidade maxima de lagartas no dia i da quinta idade  
/2 1400, 3 1300, 4 1300, 5 1200, 6 1200, 7 1200/  
cd3(I) Consumo diurno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 3 idade  
/2 0.040/  
cd4(J) Consumo diurno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 4 idade  
/2 0.13, 3 0.2, 4 0.3/  
cd5(K) Consumo diurno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 5 idade  
/2 0.3, 3 0.4, 4 0.7, 5 0.8, 6 0.94, 7 1/  
cn3(I) Consumo noturno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 3 idade  
/2 0.035/  
cn4(J) Consumo noturno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 4 idade  
/2 0.12, 3 0.17, 4 0.26/  
cn5(K) Consumo noturno de folhas hora por grama de larvas no dia i da 5 idade  
/2 0.25, 3 0.38, 4 0.5, 5 0.58, 6 0.7, 7 0.6/;

### SCALARS

t Temperatura media em graus centigrados /24.5/  
ab Area total do barracao em metros quadrados /500/  
ac Area total de cama em metros quadrados /350/  
ad Total de plantas disponiveis /16000/  
cl Custo da larva em grama /0.47/  
nlg Numero de larvas por grama /3300/  
pf Preco do formol em litro /0.55/  
pc Preco da cal hidratada em quilo /0.07/  
pbf Preco do BRA\_F em quilo /0.55/  
pfo Preco da formicida em litro /11.10/  
cao Custo medio do adubo organico por planta /0.0056/  
caq Custo medio de composto quimico NPK por planta /0.003/  
cca Custo medio do calcario por planta /0.003/  
gg Gastos gerais /50/  
cf Consumo de formol por metro quadrado de barracao em litros /0.24/  
cfo Consumo de formicida por colheita em litros /0.1/  
cc Consumo de cal (kg) por metro quadrado de cama em cada colheita /0.6/  
cbf Consumo de BRA\_F (kg) por metro quadrado de cama em cada colheita /0.02/  
pp Producao media em quilo por planta sem adubacoes /1/  
ppo Producao media em quilos por planta com adubacao organica/2.3/  
ppq Producao media em quilos por planta com adubacao quimica/1.4/  
c1 Preco do casulo de primeira /1.56/  
c2 Preco do casulo de segunda /0.47/  
c3 Preco do casulo duplo /0.26/  
pmo Preco de mao-de-obra por metro quadrado de cama /0.01/  
y1 Vale 1 para amoreiral com adubacao organica e 0 em qq. outro caso /1/  
y2 Vale 1 para amoreiral com adubacao quimica e 0 em qq. outro caso /0/

y3 Vale 1 para amoreiral sem adubacao e 0 em qq. outro caso /0/;

#### PARAMETERS

te Tempo maximo para exposicao de folhas  
 nt Numero de tratos diarios  
 ctf Custo total do formol  
 ctfo Custo total do formicida  
 cd31, cd33, cn31, cd45, cn41, cd58, cn51 Consumos em dias especificos  
 m31, m33, m41, m45, m51, m58 Quantia maxima de lagartas;  
 cd31=0.012; cd33=0.06; cn31=0.01; cd45=0.3; cn41=0.06; cd58=0.8; cn51=0.2;  
 m31=7400; m33=4450; m41=4450; m45=2200; m51=1400; m58=1200;  
 nt = ROUND(14\*t\*t/2100);  
 te = 14/nt;  
 ctf=ab\*cf\*pf;  
 ctfo=cfo\*pfo;

#### VARIABLES

QL3(I) Quantidade de lagartas por metro quadrado no dia i da 3a idade  
 QL4(J) Quantidade de lagartas por metro quadrado no dia i da 4a idade  
 QL5(K) Quantidade de lagartas por metro quadrado no dia i da 5a idade  
 TD3(I) Quantidade de folhas em cada trato diurno no dia i da 3a idade  
 TD4(J) Quantidade de folhas em cada trato diurno no dia i da 4a idade  
 TD5(K) Quantidade de folhas em cada trato diurno no dia i da 5a idade  
 TN3(I) Quantidade de folhas em cada trato noturno no dia ida 3a idade  
 TN4(J) Quantidade de folhas em cada trato noturno no dia i da 4a idade  
 TN5(K) Quantidade de folhas em cada trato noturno no dia i da 5a idade  
 QTL Quantidade de lagartas a serem criadas  
 MO3(I) Mao-de-obra no abastecimento de folhas no dia i da 3a idade  
 MO4(J) Mao-de-obra no abastecimento de folhas no dia i da 4a idade  
 MO5(K) Mao-de-obra no abastecimento de folhas no dia i da 5a idade  
 MOT Mao-de-obra total  
 AC03(I) Area de cama ocupada no dia i da 3a idade  
 AC04(J) Area de cama ocupada no dia i da 4a idade  
 AC05(K) Area de cama ocupada no dia i da 5a idade

\* Este bloco sao casos especificos das variaveis ja descritas acima  
 TD31, TD33, TN31, TD45, TN41, TD58, TN51, QL31, QL33, QL41, QL45 QL51  
 QL58, TL31, TL33, TL41, TL45, TL51, TL58, MO31, MO33, MO41, MO45, MO51  
 MO58, AC031, AC033, AC041, AC045, AC051, AC057, AC058

GF3 Consumo total de folhas na terceira idade  
 GF4 Consumo total de folhas na quarta idade  
 GF5 Consumo total de folhas na quinta idade  
 GTF Consumo total de folhas durante a criacao  
 CTA Custo total de adubacao na criacao  
 CTBF Custo total de BRA\_F na criacao  
 CTC Custo total de cal hidratada na criacao  
 DT Despesa total da criacao  
 P Peso medio de cada casulo produzido  
 X1 Producao de casulos de primeira  
 X2 Producao de casulos de segunda  
 X3 Producao de casulos de terceira ou duplos  
 Z Funcao objetivo;

## POSITIVE VARIABLE

QL3, QL4, QL5, TD3, TD4, TN3, TN4, CTN5, QTL, GF3, GF4, GF5, GTF  
 CTA, CTBF, P, CTC, DT, X1, X2, X3, TD31, TD33, TN31, TD45  
 TN41, TD58, TN51, QL31, QL33, QL41, QL45, QL51, QL58, TL31, TL33  
 TL41, TL45, TL51, TL58, MO31, MO33, MO41, MO45, MO51, MO58  
 ACO31, ACO33, ACO41, ACO45, ACO51, ACO57, ACO58, QTL;

## EQUATIONS

RQL3(I) Restricao do n. de lagartas por metro quadrado no dia i da 3a idade  
 RQL4(J) Restricao do n. de lagartas por metro quadrado no dia i da 4a idade  
 RQL5(K) Restricao do n. de lagartas por metro quadrado no dia i da 5a idade  
 RTD3(I) Restricao da quantidade de folhas por trato do dia i da 3a idade  
 RTD4(J) Restricao da quantidade de folhas por trato do dia i da 4a idade  
 RTD5(K) Restricao da quantidade de folhas por trato do dia i da 5a idade  
 RTN3(I) Restricao da quant. de folhas por trato noturno no dia i da 3a idade  
 RTN4(J) Restricao da quant. de folhas por trato noturno no dia i da 4a idade  
 RTN5(K) Restricao da quant. de folhas por trato noturno no dia i da 5a idade  
 RAC03(I) Restricao da area de cama ocupada no dia i da 3a idade  
 RAC04(J) Restricao da area de cama ocupada no dia i da 4a idade  
 RAC05(K) Restricao da area de cama ocupada no dia i da 5a idade  
 RMO3(I) Restricao da mao-de-obra no dia i da 3a idade  
 RMO4(J) Restricao da mao-de-obra no dia i da 4a idade  
 RMO5(K) Restricao da mao-de-obra no dia i da 5a idade  
 RMOT Restricao da mao-de-obra total

- \* Este bloco de restricoes sao casos especificos das anteriores  
 R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16  
 R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25

RQTL1 Restricao da quantidade total de lagartas a ser criada  
 RQTL2 Idem  
 RGF3 Restricao do gasto de amoreira na terceira idade  
 RGF4 Restricao do gasto de amoreira na quarta idade  
 RGF5 Restricao do gasto de amoreira na quinta idade  
 RGTF Restricao do gasto total de amoreira durante a criacao  
 RCTA Restricao do custo de adubacao  
 RCTBF Restricao do custo de BRA\_F  
 RCTC Restricao do custo da cal hidratada  
 RDT Restricao da despesa total  
 RPESOC Restricao do peso do casulo  
 RPRODC1 Restricao da producao de casulos de primeira  
 RPRODC2 Restricao da producao de casulos de segunda  
 RPRODC3 Restricao da producao de casulos de terceira ou duplo  
 OBJ Funcao objetivo;

RQTL1..  $QTL - 10 * \text{TRUNC}(0.0364 * ac) = L = 0;$   
 RQTL2..  $QTL - 10 * \text{ROUND}((ad * ppo * y1 + ad * ppq * y2 + ad * pp * y3) / 1980) = L = 0;$   
 RQL3(I)..  $QL3(I) - m3(I) = L = 0;$   
 RAC03(I)..  $ACO3(I) * QL3(I) - QTL * nlg = G = 0;$   
 RTD3(I)..  $TD3(I) - CD3(I) * TE * QTL = G = 0;$   
 RTN3(I)..  $TN3(I) - CN3(I) * 10 * QTL = G = 0;$   
 RMO3(I)..  $MO3(I) - nt * ACO3(I) = E = 0;$   
 RQL4(J)..  $QL4(J) - m4(J) = L = 0;$   
 RAC04(J)..  $ACO4(J) * QL4(J) - QTL * nlg = G = 0;$

```

RTD4(J).. TD4(J) - CD4(J)*TE*QTL =G= 0;
RTN4(J).. TN4(J) - CN4(J)*10*QTL =G= 0;
RMO4(J).. MO4(J) - nt*ACO4(J) =E= 0;
RQL5(K).. QL5(K) - m5(K) =L= 0;
RACO5(K).. ACO5(K)*QL5(K) - QTL*nlg =G= 0;
RTD5(K).. TD5(K) - CD5(K)*TE*QTL =G= 0;
RTN5(K).. TN5(K) - CN5(K)*10*QTL =G= 0;
RMO5(K).. MO5(K) - nt*ACO5(K) =E= 0;
R1.. QL31 - m31 =L= 0; R2.. QL33 - m33 =L= 0;
R3.. QL41 - m41 =L= 0; R4.. QL45 - m45 =L= 0;
R5.. QL51 - m51 =L= 0; R6.. QL58 - m58 =L= 0;
R7.. TD31 - CD31*TE*QTL =G= 0; R8.. TD33 - CD33*TE*QTL =G= 0;
R9.. TD45 - CD45*TE*QTL =G= 0; R10.. TD58 - CD58*TE*QTL =G= 0;
R11.. TN31 - CN31*10*QTL =G= 0; R12.. TN41 - CN41*10*QTL =G= 0;
R13.. TN51 - CN51*10*QTL =G= 0;
R14.. ACO31*QL31 - QTL*nlg =G= 0; R15.. ACO33*QL33 - QTL*nlg =G= 0;
R16.. ACO41*QL41 - QTL*nlg =G= 0; R17.. ACO45*QL45 - QTL*nlg =G= 0;
R18.. ACO51*QL51 - QTL*nlg =G= 0; R19.. ACO58*QL58 - QTL*nlg =G= 0;
R20.. MO31 - 3*ACO31 =E= 0; R21.. MO33 - 3*ACO33 =E= 0;
R22.. MO41 - ACO41 =E= 0; R23.. MO45 - 3*ACO45 =E= 0;
R24.. MO51 - ACO51 =E= 0; R25.. MO58 - 2*ACO58 =E= 0;
RMOT.. MOT =E= SUM(I, MO3(I))+ SUM(J, MO4(J))+SUM(K, MO5(K));
RGF3.. GF3 =E= SUM(I, TN3(I)) +nt*SUM(I, TD3(I)) + 3*TD31;
RGF4.. GF4 =E= SUM(J, TN4(J))+nt*SUM(J, TD4(J)) + TN41;
RGF5.. GF5 =E= SUM(K, TN5(K))+nt*SUM(K, TD5(K)) + 2*TD58;
RGTF.. GTF =E= GF3 + GF4 + GF5;
RCTA.. CTA =E= y1*cao*(GTF/ppq)+y2*caq*(GTF/ppq)
        +y1*(GTF/ppq)*cca+y2*(GTF/ppq)*cca;
RCTBF.. CTBF =E= cbf*pbf*ACO57;
RCTC.. CTC =E= cc*pc*ACO57;
RDT.. DT =E= CTA + CTC + CTBF + c1*QTL + GG + pmo*MOT + ctf + ctfo;
RPESOC.. P =E= 1.9*y1 + 1.75*y2 + 1.6*y3;
RPRODC3.. X3 =E= 0.02*QL58*ACO58*P;
RPRODC2.. X2 =E= 0.06*QTL*3.3*P;
RPRODC1.. X1 =E= 0.92*QTL*3.3*P - X3;
OBJ.. Z =E= c1*X1 + c2*X2 + c3*X3 - DT;

```

MODEL SEDA/ALL/;

SOLVE SEDA USING NLP MAXIMIZING Z;

```

DISPLAY QTL.L, QL31.L, QL3.L, QL33.L, QL41.L, QL4.L, QL45.L, QL51.L, QL5.L
        QL58.L, TD31.L, TD3.L, TD33.L, TD4.L, TD45.L, TD5.L
        TD58.L, TN31.L, TN3.L, TN41.L, TN4.L, TN51.L, TN5.L, nt, X1.L
        X2.L, X3.L, DT.L, Z.L;

```

### A.3. Análise da Solução

Neste ponto será feita uma rápida análise da solução do problema quanto às condições de Kuhn-Tucker e a qualificação das restrições. Para facilitar a análise será feita uma renomeação das variáveis como segue.

$$\text{Maximizar } Z = c1*X_{90} + c2*X_{91} + c3*X_{92} - X_{89}$$

Restrições:

$$g_1 : X_1 - \min(0.364*ac, ad/198) \leq 0$$

$$g_i : X_i - m_i \leq 0, i=2, 3, 4$$

$$g_j : cd_j*te*X_1 - X_j \leq 0, j=5, 6, 7$$

$$g_k : cn_k*10*X_1 - X_k \leq 0, k=8, 9, 10$$

$$g_m : nlg*X_1 - X_{m-9}*X_m \leq 0, m=11, 12, 13$$

$$g_n : X_n - nt*X_{n-3} = 0, n=14, 15, 16$$

$$g_{17} : \sum_{k=8}^{10} X_k + 3X_5 + nt \sum_{j=5}^6 X_j + 3X_7 - X_{17} = 0$$

$$g_d : X_d - m_d \leq 0, d=18, 19, 20, 21, 22$$

$$g_e : cd_e*te*X_1 - X_e \leq 0, e=23, 24, 25, 26, 27$$

$$g_f : cn_f*10*X_1 - X_f \leq 0, f=28, 29, 30, 31, 32$$

$$g_g : nlg*X_1 - X_{g-15}*X_g \leq 0, g=33, 34, 35, 36, 37$$

$$g_h : X_h - nt*X_{h-5} = 0, h=38, 39, 40, 41, 42$$

$$g_{43} : \sum_{f=27}^{31} X_f + nt \sum_{g=32}^{36} X_g + 3X_{27} - X_{43} = 0$$

$$g_p : X_p - m_p \leq 0, p=44, 45, \dots, 51$$

$$g_q : cd_q*te*X_1 - X_q \leq 0, q=52, 53, \dots, 59$$

$$g_r : cn_r*10*X_1 - X_r \leq 0, r=60, 61, \dots, 67$$

$$g_s : nlg*X_1 - X_{s-23}*X_s \leq 0, s=68, 69, \dots, 75$$

$$g_t : X_t - nt*X_{t-8} = 0, t=76, 77, \dots, 81$$

$$g_{82} : \sum_{r=60}^{66} X_r + nt \sum_{q=52}^{58} X_q + 3X_{59} - X_{82} = 0$$

$$g_{83} : X_{17} + X_{43} + X_{82} - X_{83} = 0$$

$$g_{84} : X_{84} - cao*(X_{83}/ppo)*y_1 - caq*(X_{83}/ppq)*y_2$$

$$g_{85} : X_{85} - cca*(X_{83}/ppo)*y_1 + cca*(X_{83}/ppq)*y_2$$

$$g_{86} : \sum_{n=14}^{15} X_n + \sum_{q=38}^{42} X_q + \sum_{t=76}^{81} X_t - X_{86} = 0$$

$$g_{87} : X_{87} - pbf*cbf*X_{76} = 0$$

$$g_{88} : X_{88} - pc*cc*X_{76} = 0$$

$$\begin{aligned}
g_{89}: X_{84} + X_{85} + cmo \cdot X_{86} + X_{87} + cl \cdot X_1 - X_{89} + ctf + ctfd + gg &= 0 \\
g_{90}: X_{90} - 0.02 \cdot X_{51} \cdot X_{76} \cdot \text{pesoc} / 1000 &= 0 \\
g_{91}: X_{91} - 0.06 \cdot \text{pesoc} \cdot \text{nlg} \cdot X_1 / 1000 &= 0 \\
g_{92}: X_{92} - 0.92 \cdot \text{pesoc} \cdot \text{nlg} \cdot X_1 / 1000 - X_{90} &= 0
\end{aligned}$$

### Qualificação das Restrições

Uma condição suficiente para que sejam satisfeitas as qualificações das restrições, é que o conjunto dos vetores gradientes das restrições seja linearmente independente ([18] - Fritzsche, p. 35). Para mostrar este fato, será necessário o Teorema a seguir.

**Teorema 1.** Uma sequência de vetores  $v_1, v_2, \dots, v_n$  de  $\mathbb{R}^n$  é linearmente independente se, e somente se, o determinante da matriz  $A$ , cujas cuja linha  $i$  é constituída pelas coordenadas do vetor  $v_i$ , é diferente de zero.

Observando agora as restrições  $g_i$ , é fácil ver que a matriz  $A$ , cuja linha  $i$  é formada pelas coordenadas do vetor gradiente de  $g_i$ , tem o formato abaixo:

$$\begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & 0 & 0 & 0 \\
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & & & & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 1 & 0 & 0 & & & & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & & & & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & & & & 0 & 0 & 0 \\
. & & & & & . & & & & & . \\
. & & & & & & . & & & & . \\
. & & & & & & & . & & & . \\
k1 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & 1 & 0 & 0 \\
k2 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & . & . & 0 & 1 & 0 \\
k3 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & 0 & 0 & 1
\end{bmatrix}$$

Trata-se, portanto, de uma matriz triangular inferior, cujos elementos da diagonal principal,  $a_{ii}$ , são todos não nulos. Logo o determinante da mesma será dado por  $\det A = a_{11} \cdot a_{22} \cdot \dots \cdot a_{92} \neq 0$ . Assim, de acordo com o Teorema 1 o vetores gradientes das restrições formam um conjunto linearmente independentes. Logo as qualificações das restrições são satisfeitas.

Condições necessárias de Kuhn-Tucher para maximização

1)  $f(X)$  é côncava

Existem multiplicadores  $\lambda_i$  tais que

$$2) \quad \frac{\partial f(X^*)}{\partial X_j} - \sum_{i=1}^K \lambda_i \frac{\partial g_i(X^*)}{\partial X_j} \leq 0$$

$$3) \quad X^* \left( \frac{\partial f(X^*)}{\partial X_j} - \sum_{i=1}^K \lambda_i \frac{\partial g_i(X^*)}{\partial X_j} \right) = 0$$

$$4) \quad g_i(X^*) - b_i \leq 0$$

$$5) \quad \lambda_i [g_i(X^*) - b_i] = 0$$

6)  $\lambda_i \geq 0$  para restrições de desigualdade

$\lambda_i$  irrestrito para restrições de igualdade

Para verificação das condições acima será tomada a solução obtida na situação do item (a) página 66.

1) Como a função  $f$  é linear, segue que a mesma é côncava (vide [20] Mirshawka p. 244).

2) Como  $x_j^* \geq 0 \forall j$ , então esta condição está implícita na condição 3 a seguir, isto é, se a condição 3 for satisfeita, automaticamente a condição 2 também o será.

$$3) \quad X^* \left( \frac{\partial f(X^*)}{\partial X_j} - \sum_{i=1}^K \lambda_i \frac{\partial g_i(X^*)}{\partial X_j} \right) = 0$$

$$\frac{\partial f(X^*)}{\partial X_j} - \sum_{i=1}^K \lambda_i \frac{\partial g_i(X^*)}{\partial X_j} = 0 \text{ uma vez que } x_j^* \geq 0 \forall j. \text{ Fazendo-se todas}$$

as derivadas parciais indicadas na última expressão, chega-se a um sistema linear  $92 \times 92$ , nas variáveis  $\lambda_i$  (o sistema não será dado aqui). A resolução de tal sistema forneceu  $\lambda_{89} = -1$ ,  $\lambda_{90} = 1.3$ ,  $\lambda_{91} = 0.47$ ,  $\lambda_{92} = 1.56$  e  $\lambda_i = 0$  para  $i=1, 2, \dots, 88$ , o que comprova a existência dos  $\lambda_i$ .

4) É imediata. Uma vez  $X^*$  é solução do problema, todas as restrições são satisfeitas neste ponto.

5) Para os valores  $\lambda_i = 0$ , obviamente a condição é satisfeita. Para os valores não nulos de  $\lambda_i$ , basta observar que as restrições com as quais estão relacionados,  $g_{89}$ ,  $g_{90}$ ,  $g_{91}$  e  $g_{92}$  são restrições de



igualdade, o que conclui a 5ª condição.

6) O único valor de  $\lambda_i < 0$  é  $\lambda_{89} = -1$ , o que não viola a condição pelo fato de a restrição  $g_{89}$  ser um restrição de igualdade.

#### A.4. Análise de Sensibilidade

Quadro A.1. Sensibilidade para Algumas Variáveis do Modelo

Variável	Coefficiente Atual	Acréscimo	Decréscimo
X1	1.5600	Infinito	0.2638
X2	0.4700	Infinito	19.3782
X3	0.2600	Infinito	58.1345
DT	-1.0000	1.0000	3.8007
QTL	0.0000	Infinito	7.2901
AS	0.0000	Infinito	45.8333
AC	0.0000	Infinito	27.5000
GTF	0.0000	Infinito	1980.0000
MOT	0.0000	0.0100	0.0503
CTA	0.0000	1.0753	Infinito
CTCA	0.0000	2.3279	Infinito
TE	0.0000	4.6666	0.0000
NT	0.0000	8.0000	0.0000
TD32	0.0000	0.0500	Infinito
TD32	0.0000	0.0401	Infinito
TD33	0.0000	0.0241	Infinito
TD41	0.0000	0.0000	Infinito
TD42	0.0000	0.4012	Infinito
TD43	0.0000	0.4012	Infinito
TD44	0.0000	0.4012	Infinito
TD45	0.0000	0.0241	Infinito
TD51	0.0000	0.4012	Infinito
TD52	0.0000	0.4012	Infinito
TD53	0.0000	0.4012	Infinito
TD54	0.0000	0.4012	Infinito
TD55	0.0000	0.4012	Infinito
TD56	0.0000	0.4012	Infinito
TD57	0.0000	0.4012	Infinito
TD58	0.0000	0.2400	Infinito
ACO31	0.0000	0.5000	16.3474
ACO32	0.0000	0.5000	12.1501
ACO33	0.0000	0.5000	9.8305
ACO41	0.0000	0.5000	9.8305
ACO42	0.0000	0.5000	5.5228
ACO43	0.0000	0.5000	5.5228
ACO44	0.0000	0.5000	4.8600
ACO45	0.0000	0.5000	4.8600
ACO51	0.0000	0.5000	2041.2170
ACO52	0.0000	0.5000	2041.2170
ACO53	0.0000	0.5000	1895.4160
ACO54	0.0000	0.5000	1895.4160
ACO55	0.0000	0.5000	1749.6150
ACO56	0.0000	0.5000	1749.6150
ACO57	0.0000	0.5000	1749.6150
ACO58	0.0000	0.5000	1749.6150

A análise de sensibilidade foi feita com base no problema simulado na Seção 4.1. As variações possíveis nos coeficientes de algumas das variáveis de decisão, na função objetivo, de modo que

não haja alteração na base da solução encontrada estão relacionadas a seguir, no Quadro A.2. Também serão dadas as variações possíveis para os limites de algumas restrições, Quadro A.2.

**Quadro A.2. Sensibilidade para os Limites das Restrições do Modelo**

Número da Restrição	Limite Atual	Acréscimo	Decréscimo
12	0.0000	Infinito	396000.000
13	0.0000	Infinito	396000.000
14	0.0000	Infinito	396000.000
15	0.0000	Infinito	267.568
16	0.0000	Infinito	360.000
17	0.0000	Infinito	444.944
18	0.0000	Infinito	253.680
34	0.0000	Infinito	396000.000
35	0.0000	Infinito	396000.000
36	0.0000	Infinito	396000.000
37	0.0000	Infinito	396000.000
38	0.0000	Infinito	444.944
39	0.0000	Infinito	792.000
40	0.0000	Infinito	792.000
41	0.0000	Infinito	900.000
42	0.0000	Infinito	900.000
43	0.0000	Infinito	2676.000
68	0.0000	Infinito	600.000
69	0.0000	Infinito	600.000
70	0.0000	Infinito	600.000
71	0.0000	Infinito	600.000
71	0.0000	Infinito	600.000
73	0.0000	Infinito	600.000
74	0.0000	Infinito	600.000
75	0.0000	Infinito	600.000
76	0.0000	Infinito	1414.286
77	0.0000	Infinito	1414.286
78	0.0000	Infinito	1523.077
79	0.0000	Infinito	1523.077
80	0.0000	Infinito	1650.000
81	0.0000	Infinito	1650.000
82	0.0000	Infinito	1650.000
83	0.0000	Infinito	1650.000
84	0.0000	Infinito	13020.000
85	0.0000	Infinito	73.012
86	0.0000	Infinito	54.982
87	0.0000	Infinito	17376.180
88	0.0000	Infinito	46.200
89	0.0000	Infinito	0.005
90	0.0000	Infinito	1.110
91	1.1100	Infinito	455.471
92	50.000	Infinito	692.208

Obs.: As restrições não constantes no quadro acima ficaram sem folga na resolução. As variações possíveis, em todos os casos, são apenas de acréscimos e vão desde o limite atual até infinito.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 ABREU, O. C. Preparo Técnico de Ovos do Bicho-da-Seda. São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1971.
- 2 ASSOCIAÇÃO DE CRÉDITO E ASSISTÊNCIA RURAL DO PARANÁ/FUNDAÇÃO 1980. Recomendações Técnicas do Paraná do V Encontro de Sericicultura. 5ª Edição, Curitiba/PR.
- 3 AYUZAWA. C. Handbook of silkworm rearing. Tóquio, Fuji Publishing, 1972.
- 4 BONILHA, N. A. A Amoreira na Alimentação do Bicho-da-Seda. Secretaria da Agricultura - Diretoria de Publicidade Agrícola, SP.
- 5 BONILHA, N. A. Sericicultura no Estado de São Paulo. Departamento Editorial Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piraciba, 1964.
- 6 BORGONOVÍ, A. Técnica de Fiação e da Classificação da Seda. Boletim Técnico de Sericicultura, Campinas, Serviço de Sericicultura, 1975.
- 7 BRADLEY, P. S.; HAX, C. A.; MAGNATI, L. T. Applied Mathematical Programming. Addison Wesley Publishing Company, Califórnia, 1977.
- 8 BREGALDA, P. F. Introdução à Programação Linear. 2ª Edição, Editora Campos, RJ, 1984.
- 9 BRONSON, Richard, Pesquisa Operacional. McGraw Hill, RJ, 1985.
- 10 COUTINHO, F. F. A Sericicultura (Técnica da Cultura da Amoreira e da Criação do Bicho-da-Seda). SP, 1973.

- 11 CHVÁTAL V. Linear Programming. McGraw Hill University, New York, 1983.
- 12 DECHEN, A. R.; FONSECA, A. S.; HAAG, H. P. Nutrição Mineral da Amoreira Morus Alba L.; Absorção de Nutrientes. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP, 30(2):361-8, 1973.
- 13 FONSECA, A. S.; CAMPOS, B. E. S. Variação da Temperatura e da Umidade Relativa do Ar em Ambiente de criação do Bicho-da-Seda Bombyx mori L. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP, 34(1):149-53, jan/jun. 1977.
- 14 FONSECA, A. S.; PAOLIERI, L.; NOGUEIRA, L. R. Nutrição do Bicho-da-Seda Bombyx Mori L. Influência da Idade da Folha da Amoreira Sobre o Crescimento e Desenvolvimento do Bicho-da-Seda. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP, 30(1):173-80, jan/jun. 1973.
- 15 FONSECA, A. S.; FONSECA, T. C. Cultura da Amoreira e Criação do Bicho-da-Seda. Livraria Nobel - São Paulo.
- 16 FONSECA, A. S.; FONSECA, T. C.; CAMPOS, B. E. S. Perda de água pelas Folhas de Amoreira Morus Alba L. nas Esteiras de Criação do Bicho-da-Seda Bombyx Mori L. Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP, 33(2):313-7, jul/dez. 1976.
- 17 HANADA, Y.; WATANABE, K. J. Manual de Criação do Bicho-da-Seda. Associação de Crédito e Assistência Rural do Paraná, Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural e Cooperativa dos Cafeicultores e Agropecuaristas de Maringá - Curitiba, 1986.
- 18 FRITZSCHE, Helmut. Programação não Linear: Análise e Métodos. Edgard Blücher: Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

- 19 LUENBERGER, G. D. Introduction to Linear and Nonlinear Programming. Addison Wesley Publishing Company, Califórnia, 1973.
- 20 MIRSHAWKA, Vítor. Pesquisa Operacional, Vol. 1, 2ª edição. Livraria Nobel S/A, São Paulo, 1981.
- 21 OLIVEIRA, S. de, Sericicultura, Sedoso Renascimento. Globo Rural, São Paulo, (47):65-69, set./89.
- 22 OKINO, Issao - (Coordenador da Comissão Organizadora). Manual de Sericicultura. Bauru - 1982.
- 23 OVERSEAS TECHNICAL COOPERATION AGENCY. Sericiculture, mulberry, silkworm rearing. Tóquio, 1978.
- 24 RUBIA, A. C. Variedades de Amoreira e seu Emprego na Criação do Bicho-da-Seda. Revista de Agricultura, Piracicaba, 39(1):83-7, 1964.
- 25 TAKAHASHI, T.; KRONKA, R. N. Efeitos dos Diferentes Tipos de Adubação na Produção de Amoreira (Morus Alba L.). Boletim da Indústria Animal, Nova Odessa, SP, 46(1):157-64, jan/jun. 1989.